



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF141501

KARAKTERISASI TANAH BERDASARKAN NILAI *POISSON RATIO* BAWAH PERMUKAAN SURABAYA MENGGUNAKAN METODE SEISMIK REFRAKSI DAN *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE (MASW)*

MOHAMMAD NOVRIPTA ZULFIKAR
NRP 3714100051

Dosen Pembimbing
Dr. Widya Utama, DEA
NIP. 19611024 198803 1 001

Firman Syaifuddin, S.Si, M.T.
NIP. 19840911 201404 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RF141501

**KARAKTERISASI TANAH BERDASARKAN NILAI
POISSON RATIO BAWAH PERMUKAAN SURABAYA
MENGUNAKAN METODE SEISMIK REFRAKSI DAN
MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE
(MASW)**

MOCHAMMAD NOVRITSA ZULFIKAR
NRP 3714100051

Dosen Pembimbing
Dr. Widya Utama, DEA
NIP. 19611024 198803 1 001

Firman Syaifuddin S.Si, M.T.
NIP. 19840911 201404 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK GEOFISIKA
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan Dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan



UNDERGRADUATE THESIS - RF141501

**SURABAYA SOIL CHARACTERIZATION BASED ON
POISSON RATIO VALUE USING SEISMIC
REFRACTION METHOD AND MULTICHANNEL
ANALYSIS OF SURFACE WAVE (MASW)**

Mochammad Novritsa Zulfikar
NRP 3714100051

Advisors
Dr. Widya Utama, DEA
NIP. 19611024 198803 1 001

Firman Syaifuddin S.Si, M.T.
NIP. 19840911 201404 1 001

**GEOPHYSICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty Of Civil Environmental And Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2018**

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan



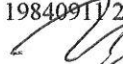

**KARAKTERISASI TANAH BERDASARKAN NILAI
POISSON RATIO BAWAH PERMUKAAN SURABAYA
MENGUNAKAN METODE SEISMIK REFRAKSI DAN
MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE
(MASW)**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada
Departemen Teknik Geofisika
Fakultas Teknik Sipil Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya, 19 Juli 2018

Menyetujui,

- | | |
|---|-----------------|
| 
.....
1. <u>Dr. Widya Utama, DEA</u>
NIP. 19611024 198803 1 001 | (Pembimbing I) |
| 
.....
2. <u>Firman Syarifuddin S.Si., M.T.</u>
NIP. 19840917 201404 1 001 | (Pembimbing II) |
| 
.....
3. <u>Anik Hilviah S.Si., M.T.</u>
NIP. 19790813 200812 2 002 | (Penguji I) |
| 
.....
4. <u>Dr. Ir. Amien Widodo, M.Si.</u>
NIP. 19591010 198803 1 002 | (Penguji II) |

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Petrofisika
Fakultas Teknik Sipil, Lingkungan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya


Wien Lestari, S.T, M.T.
NIP. 19811002 201212 2 003

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KARAKTERISASI TANAH BERDASARKAN NILAI *POISSON RATIO* BAWAH PERMUKAAN SURABAYA MENGGUNAKAN METODE SEISMIK REFRAKSI DAN *MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE* (MASW)

Nama Mahasiswa : Mochammad Novritsa Zulfikar
NRP : 3714100051
Departemen : Teknik Geofisika FTSLK-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Widya Utama, DEA
Firman Syaifuddin, S.Si, M.T

Abstrak

Poisson ratio dalam studi sifat mekanik batuan memiliki peranan yang cukup penting. Dalam pengaplikasiannya, *poisson ratio* sering digunakan dalam berbagai bidang kebumihan sebagai kontrol deformabilitas batuan. Banyak pendekatan yang digunakan dalam menentukan *poisson ratio* batuan. Salahsatunya yaitu dengan pendekatan V_p dan V_s . Pada penelitian ini akan digunakan pendekatan tersebut untuk mendapatkan *poisson ratio*. Dengan memanfaatkan hasil akuisisi data seismik, dilanjutkan dengan pengolahan metode seismik refraksi dan MASW, maka nilai V_p dan V_s batuan dapat ditentukan. Lokasi akuisisi berada pada 24 titik yang tersebar di seluruh Surabaya. Titik-titik tersebut merupakan titik yang merepresentasikan keadaan formasi di permukaan Surabaya. Pada permukaan Surabaya terdapat 4 formasi batuan, yaitu Formasi Kabuh, Formasi Lidah, Formasi Pucangan, dan Formasi Alluvium. Karakterisasi tanah pada formasi batuan di Surabaya akan digambarkan dengan penampang 2-D tiap formasi disertai dengan dua penampang yang melewati seluruh formasi di Surabaya. Setelah dilakukan pengolahan dan interpretasi, diketahui bahwa hingga kedalaman 30 m, diketahui bahwa seluruh formasi di Surabaya telah mengalami pelapukan, sehingga hanya ditemukan jenis tanah *unconsolidated sediments*. Adanya fluida dalam tanah sangat mempengaruhi ambiguitas dalam menentukan jenis tanah berdasarkan nilai *poisson ratio*. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dan digunakan sebagai dasar penelitian-penelitian selanjutnya sebagai bentuk upaya pembangunan Surabaya kedepannya.

Kata Kunci : Karakterisasi Tanah, MASW, *Poisson Ratio*, Seismik Refraksi, Surabaya

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

SURABAYA SOIL CHARACTERIZATION BASED ON POISSON RATIO VALUE USING SEISMIC REFRACTION METHOD AND MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVE (MASW)

Student Name : Mochammad Novritsa Zulfikar
NRP : 3714100051
Department : Teknik Geofisika FTSLK-ITS
Advisors : Dr. Widya Utama, DEA
Firman Syaifuddin, S.Si, M.T

Abstract

Poisson ratio in the study of mechanical properties of rock has an important role. In its application, poisson ratio is often used in various areas of earth as a control of rock deformability. Many approaches are used in determining the rock poisson ratio. One of them is the approach of V_p and V_s . In this research, it used that approach to get poisson ratio. By utilizing the results of seismic data acquisition, followed by processing refraction seismic method and MASW, then V_p and V_s rock values can be determined. The location of the acquisition is 24 points spread throughout Surabaya. These points represent the point of formation on the surface of Surabaya. On the surface of Surabaya, there are 4 rock formations, namely Kabuh Formation, Lidah Formation, Pucangan Formation, and Alluvium Formation. Soil characterization on rock formations in Surabaya will be illustrated by 2-D cross section of each formation accompanied by two cross sections that pass through all formations in Surabaya. After conducting the process and interpretation, it is known that up to a depth of 30 m, it is known that all formation in Surabaya have undergone weathered, so that only found soil type unconsolidated sediments. The presence of fluid in the soil greatly affect the ambiguity in determining the type of soil based on the value of poisson ratio. This research is expected to be a reference and used as a basis for further research as a form of Surabaya development in the future.

Keywords : Soil Characterization, MASW, Poisson Ratio, Refraction Seismic, Surabaya.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

Kata Pengantar

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat dan ridho-Nya Sehingga laporan Tugas Akhir dengan judul "Karakterisasi Tanah Berdasarkan Nilai *Poisson Ratio* Bawah Permukaan Surabaya Menggunakan *Metode Seismik Refraksi Dan Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW)*" dapat terselesaikan.

Pelaksanaan penelitian dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini saya mengucapkan terimakasih kepada:

1. Ayah, Ibu, Tasya dan semua keluarga atas dukungan dan doa yang selalu ditujukan kepada penulis selama kuliah terutama selama menjalani Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Widya Utama, DEA dan Bapak Firman Syaifuddin, S.Si, M.T selaku dosen pembimbing saya.
3. Seluruh Tim MASW (Anto, Fani, Husnia, Vien) yang selalu menemani dan mendukung penulis selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen dan pegawai administrasi Departemen Teknik Geofisika ITS yang telah banyak memberikan ilmu selama penulis melakukan studi di Departemen Teknik Geofisika ITS.
5. Teman-teman Teknik Geofisika ITS angkatan 2014 atas dukungannya.
6. Semua pihak yang tidak dapat dituliskan satu per satu oleh penulis, terima kasih banyak atas doa dan dukungannya.

Semoga Allah membalas semua kebaikan semua pihak. Penulis menyadari tentunya penulisan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga Tugas Akhir ini membawa manfaat bagi penulis pribadi maupun bagi pembaca.

Surabaya, 19 Juli 2018



Mochammad Novritsa Zulfikar

Nrp 3714100051

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

Pernyataan Keaslian Tugas Akhir

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Karakterisasi Tanah Berdasarkan Nilai Poisson Ratio Bawah Permukaan Surabaya Menggunakan Metode Seismik Refraksi dan Multichannel Analysis of Surface Wave (MASW)”** adalah benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 19 Juli 2018



Mochammad Novritsa Zulfikar

Nrp 3714100051

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
Abstrak.....	vii
Abstract.....	ix
Kata Pengantar	xi
Pernyataan Keaslian Tugas Akhir	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Geologi Kota Surabaya	3
2.2 Penelitian Sebelumnya	4
2.3 Gelombang Elastis	4
2.3.1 <i>Body Waves</i>	4
2.3.2 <i>Surface Waves</i>	5
2.4 Sesimik Refraksi.....	7
2.4.1 Prinsip Sesimik Refraksi	7
2.4.2 Pengolahan dan Interpretasi Sesimik Refraksi	8
2.5 <i>Multichannel Analysis Surface Wave</i>	8
2.5.1 Prinsip <i>Multichannel Analysis Surface Wave</i>	8
2.5.2 Akuisisi <i>Multichannel Analysis Surface Wave (MASW)</i>	9
2.5.3 Analisa Kurva Dispersi	10
2.6 <i>Poisson Ratio</i>	11
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	15
3.1 Data dan Perangkat Lunak	15
3.1.1 Data	15
3.1.2 Alat dan Perangkat Lunak	15
3.2 Lokasi Akuisisi dan Penampang	15

3.3 Diagram Alir.....	17
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	21
4.1 Akuisisi dan Kontrol Kualitas Data Mentah	21
4.2 Pengolahan Vs	22
4.3 Pengolahan Vp.....	23
4.4 Pengolahan <i>Poisson Ratio</i>	26
4.5 Interpretasi Pengolahan.....	28
4.5.1 Formasi Kabuh.....	31
4.5.2 Formasi Pucangan	34
4.5.3 Formasi Lidah	37
4.5.4 Formasi Alluvium	39
4.5.5 Analisa <i>Poisson Ratio</i>	42
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	45
5.1 Kesimpulan.....	45
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA.....	47

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta geologi lembar Surabaya-Sappulu (Supandjono dkk., 1992)..	3
Gambar 2.2 Simulasi gelombang P (a) dan S (b) (Shearer, 2009)	5
Gambar 2.3 Gelombang love (a) dan gelombang rayleigh (b) ketika melewati medium pada waktu tertentu.	6
Gambar 2.4 Penjalaran <i>body waves</i> pada metode seismik (Reynolds, 2011)	7
Gambar 2.5 Grafik plot <i>offset</i> terhadap waktu penjalaran (X-T) (Reynolds, 2011)	8
Gambar 2.6 Jenis-jenis gelombang terekam pada akuisisi MASW. (Choon B. Park dkk., 2007)	9
Gambar 2.7 Akuisisi MASW (Choon B. Park dkk., 2007)	10
Gambar 2.8 Alur ekstraksi kurva dispersi pada <i>phase-shift method</i> (Ólafsdóttir, 2014)	11
Gambar 2.9 Pengaruh derajat saturasi terhadap poisson ratio (Mendoza dkk., 2005)	12
Gambar 2.10 Hubungan V_p/V_s terhadap poisson ratio (Schön, 2011)	13
Gambar 3.1 Lokasi akuisisi penelitian	15
Gambar 3.2 Diagram alir tugas akhir	18
Gambar 3.3 Diagram alir pemodelan 1-D V_p	19
Gambar 3.4 Diagram alir pemodelan 1-D V_s	19
Gambar 4.1 Desain akuisisi	21
Gambar 4.2 Data <i>shot gather</i> sebelum (a) dan sesudah (b) <i>filtering</i> (batas <i>filter</i> frekuensi yang digunakan 3 Hz, 8 Hz, 25 Hz, 40 Hz)	22
Gambar 4.3 Kurva dispersi pada salah satu titik yang telah di- <i>picking</i>	23
Gambar 4.4 Data <i>shot gather</i> pada titik 2 <i>shot</i> 1 yang telah di- <i>filter</i>	24
Gambar 4.5 <i>picking first break</i> beserta kurva <i>hodograph</i> pada titik 2 <i>shot</i> 1 (garis merah pada kedua sisi)	25
Gambar 4.6 Hasil inversi 2-d pada titik 2	26

Gambar 4.7 <i>Poisson ratio</i> 1-D pada titik 2.....	27
Gambar 4.8 Model 2-D <i>poisson ratio</i> penampang 1	28
Gambar 4.9 Kolom stratigrafi formasi peta geologi lembar Surabaya-Sappulu. (Supandjono dkk., 1992).....	30
Gambar 4.10 Lokasi data bor penelitian tahun 1997 – 1998 (pin hijau)	31
Gambar 4.11 penampang 1 V_p/V_s (a) dan <i>poisson ratio</i> formasi Kabuh	32
Gambar 4.12 Penampang <i>poisson ratio</i> 1-D titik 3.....	33
Gambar 4.13 <i>Poisson ratio</i> pada titik 24.....	34
Gambar 4.14 Tabel korelasi parameter elastis penampang 2 dengan Data Bor- 121 (Tim Peneliti Jurusan Teknik Sipil ITS, 1998)	35
Gambar 4.15 <i>Poisson ratio</i> pada penampang 2	36
Gambar 4.16 <i>Poisson ratio</i> pada penampang 3	37
Gambar 4.17 Tabel korelasi parameter elastis penampang 4 dengan Data Bor- 107 (Tim Peneliti Jurusan Teknik Sipil ITS, 1998)	38
Gambar 4.18 Penampang <i>poisson ratio</i> pada penampang 4 (a) dan 5 (b).....	39
Gambar 4.19 Model penampang <i>poisson ratio</i> pada penampang 6 (a), penampang 7 (b), penampang 8 (c)	40
Gambar 4.20 Tabel korelasi penampang 6 dan 7 dengan data bor yang berdekatan	41
Gambar 4.21 Lokasi penampang melintang (a) Penampang melintang <i>Poisson Ratio</i> 1 (memotong Antiklin Lidah dan Guyangan) (b) dan 2 (memotong sisi timur Surabaya) (c).....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Klasifikasi nilai <i>poisson ratio</i>	13
Tabel 3.1 Lokasi, formasi, dan penampang pemodelan titik pengukuran	16
Tabel 4.1 Rincian keterangan warna pada nilai penampang <i>poisson ratio</i> hasil penelitian	28
Tabel 4.2 Tabel Nilai Vs dan Vp (Bourbie dkk, 1987)	29

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap batuan pasti mempunyai sifat fisik dan mekanik yang berbeda-beda tergantung pada jenis dan respon batuan terhadap suatu pemicu. Hal ini yang dimanfaatkan oleh geofisika dengan menggunakan beberapa metode eksplorasi yang memanfaatkan gelombang dalam bumi (pasif) maupun dengan memancarkan suatu gelombang (aktif) ke dalam bumi. Parameter elastik batuan, seperti konstanta elastik, ataupun properti elastik gelombang (V_p dan V_s), dalam geofisika dapat dimanfaatkan dengan metode seismik. Eksplorasi seismik menurut Sheriff dan Geldart (1995) dapat dimanfaatkan untuk menentukan endapan suatu mineral (termasuk hidrokarbon, bijih, air, dan sebagainya), lokasi arkeologi, dan untuk menghasilkan informasi geologi dalam pengaplikasiannya di bidang teknik.

Menurut Hukum Snellius, terdapat dua sifat gelombang yang dimanfaatkan dalam metode seismik, yaitu pemantulan (*reflected*) dan pembiasan (*refracted*). Kedua sifat ini yang dimanfaatkan untuk mendapatkan properti V_p (kecepatan gelombang P) dan V_s (kecepatan gelombang S) batuan. Konstanta elastik dapat ditentukan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dikembangkan, termasuk untuk *poisson ratio*.

Poisson' ratio menurut Gercek (2007) memiliki peran yang penting dalam studi mekanika batuan namun sering diabaikan. Hal ini diakibatkan oleh nilai *poisson ratio* yang teridentifikasi untuk batuan bervariasi dalam kisaran yang sempit. Namun, *poisson ratio* memainkan peran penting dalam deformasi elastis batuan dan massa batuan yang mengalami tekanan statis atau dinamis. Selanjutnya, efeknya muncul dalam berbagai aplikasi rekayasa batuan, mulai dari tes laboratorium dasar pada batuan utuh untuk pengukuran lapangan untuk tekanan in situ atau deformabilitas massa batuan. Oleh karena itu, informasi tentang berbagai aspek *poisson ratio* dapat bermanfaat bagi rekayasa batuan.

Pada penelitian ini, *poisson ratio* digunakan untuk mengetahui jenis tanah yang terdapat pada lokasi penelitian dengan memanfaatkan parameter elastik batuan lainnya, yaitu V_p dan V_s . Kedua parameter ini didapatkan dengan memanfaatkan metode geofisika, yaitu seismik refraksi dan *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW). Seismik refraksi digunakan untuk mendapatkan parameter V_p pada titik pengukuran sedangkan MASW untuk mendapatkan V_s . Dari kedua parameter tersebut, didapatkan penampang 2D *poisson ratio* hingga kedalaman 30 meter. Lokasi penelitian yang digunakan pada penelitian ini yaitu wilayah Surabaya.

Menurut lembar geologi oleh Supandjono dkk. (1992), Surabaya memiliki 4 macam formasi batuan, yaitu Formasi Lidah, Formasi Pucangan,

Formasi Kabuh, dan Formasi Alluvium. Surabaya merupakan wilayah dengan kurang lebih 80 % formasinya berupa endapan alluvium. Sisanya merupakan batuan tersier perbukitan rendah yang terdapat pada Surabaya Barat dan Surabaya Selatan. Perbukitan rendah tersebut juga sepertinya berhubungan dengan pembentukan sungai purba yang ada di Surabaya.

Menurut Tim Pusgen (2017), Surabaya dilalui oleh dua sesar lokal aktif dengan mekanisme *strike-slip* yang merupakan kemenerusan dari Sesar Kendeng, yaitu Sesar Surabaya dan Sesar Waru. Keduanya memiliki magnitudo maksimum sebesar 6.5 SR dengan panjang sesar masing-masing 25 km dan 64 km. Laju pergeseran (*sliprate*) Sesar Surabaya dan Sesar Waru yang terukur cukup kecil, yaitu sebesar 0.05 mm/tahun. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi upaya mitigasi dan pembangunan di wilayah Surabaya selanjutnya.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah

1. Bagaimana pemetaan *poisson ratio* batuan pada bawah permukaan di wilayah Surabaya dengan metode siesmik refraksi dan *Multichannel Analysis Surface Wave* (MASW).
2. Bagaimana karakterisasi tanah pada tiap formasi geologi di wilayah Surabaya.

1.3 Tujuan

Tujuan pada tugas akhir ini adalah :

1. Memetakan *poisson ratio* batuan pada bawah permukaan di wilayah Surabaya dengan metode siesmik refraksi dan *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW).
2. Menganalisa karakterisasi tanah pada tiap formasi geologi di wilayah Surabaya.

1.4 Batasan Masalah

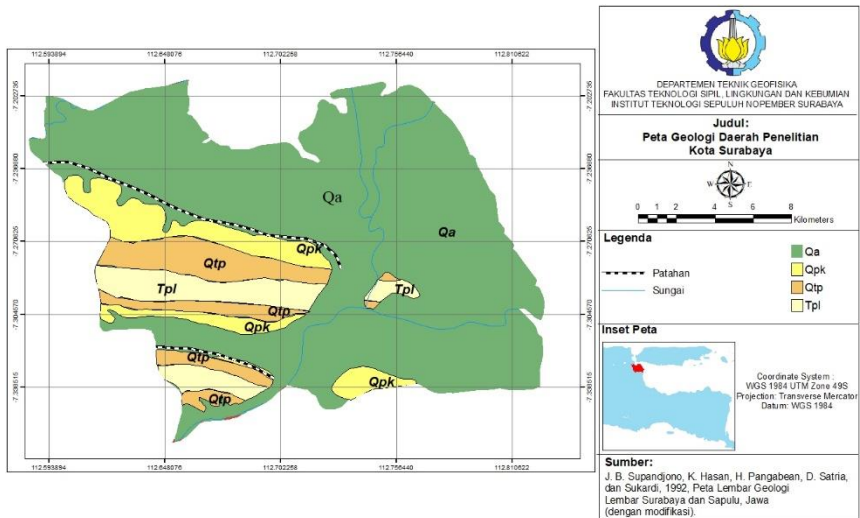
Batasan masalah pada tugas akhir ini yaitu nilai *poisson ratio* wilayah Surabaya, waktu penelitian yang dilakukan pada musim hujan, dan analisa *poisson ratio* menggunakan metode seismik refraksi dan *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Kota Surabaya

Menurut lembar geologi oleh Supandjono dkk. (1992), Kota Surabaya dibentuk oleh batuan sedimen yang berumur miosen sampai pleistosen. Batuan sedimen Surabaya adalah bagian dari lajur Sesar Kendeng dengan Formasi Lidah, Pucangan, dan Kabuh serta endapan alluvium yang terbentuk pada masa pleistosen. Batuan dasar untuk Kota Surabaya merupakan Formasi Lidah yang berumur pliosen (*pre-tertiary*). Formasi ini berada pada kedalaman 250 – 300 meter. Permukaan Surabaya didominasi oleh endapan alluvium hasil endapan laut dan sungai, tuff dan batu pasir. Seperti pada gambar 4.1, sebanyak 80% endapan alluvial dan sisanya berupa tanah hasil pelapukan batuan tersier. Endapan sungai yang didominasi oleh endapan pasir dengan sedikit lanau dan lempung, endapan rawa yang didominasi oleh butiran lanau-lempung dengan sedikit bahan organik, dan endapan pantai yang didominasi oleh endapan berukuran pasir halus yang mengandung fosil kerang. (S. Bahri dan Madlazim, 2012)



Gambar 2.1 Peta geologi lembar Surabaya-Sappulu (Supandjono dkk., 1992)

Menurut data Tim Pusat Gempa Nasional (2017), pada wilayah Surabaya terdapat dua sesar lokal aktif yang terdapat pada sisi barat Surabaya, yakni Sesar Waru dan Sesar Surabaya. Kedua sesar ini memiliki potensi

magnitudo gempa maksimum sebesar 6.5 SR. Sesar Waru memiliki nilai pergeseran sebesar 0.05 mm/tahun sedangkan Sesar Surabaya memiliki nilai pergeseran sebesar 0.05 mm/tahun. Keduanya merupakan sesar yang mempunyai mekanisme *reverse slip*, sehingga terdapat bagian dari sesar yang mengalami kenaikan permukaan. Kedua sesar ini merupakan sesar bentukan dari Sesar aktif Kendeng. Jika dianalisa, letak dari kedua sesar ini yaitu berada pada sisi utara dari antiklin-antiklin yang ada di Surabaya. Sesar Surabaya terletak pada utara dari Antiklin Guyangan, sedangkan Sesar Waru terdapat pada utara dari antiklin Lidah. Selain antiklin, terdapat fenomena geologi yang menarik yang terdapat pada Surabaya. Fenomena tersebut adalah terdapatnya sungai yang telah terbelokkan yang memotong Antiklin Lidah dan Antiklin Guyangan, sehingga terdapat formasi yang terpotong di beberapa bagian di Surabaya.

2.2 Penelitian Sebelumnya

Analisa poisson ratio memanfaatkan nilai kecepatan gelombang P (Vp) dan nilai kecepatan gelombang S (Vs) juga dilakukan oleh Hayatul Muna (2017), Sharma dkk. (1990), dan Essien dkk. (2014). Hayatul Muna (2017) memanfaatkan nilai Vp dan Vs dengan menggunakan metode seismik refraksi dan *Multichannel Analysis of Surface Wave* (MASW) untuk memetakan litologi batuan pada Kecamatan Pidie Jaya, Aceh. Sedangkan Sharma dkk. (1990) memanfaatkan nilai Vp dan Vs data pengukuran lapangan untuk mendapatkan parameter dinamik batuan pada kedalaman dangkal di daerah pembuangan (*landfill site*). Begitupun Essien dkk. (2014) yang memanfaatkan Vp dan Vs untuk memetakan *poisson ratio tanah* permukaan dan sedimen dangkal di Nigeria.

Pada penelitian sebelumnya di Surabaya, Bahri dan Madlazim (2012) telah meneliti mengenai kajian bawah permukaan tanah berdasarkan data geologi, geofisika dan hidrogeologi Kota Surabaya. Farid Ma'ruf, dkk. (2011) meneliti tentang perhitungan nilai *amplification factor* dan *Peak Ground Acceleration* (PGA) berdasarkan data SPT dengan mengambil sampel SPT di beberapa lokasi di Surabaya. Penelitian di Surabaya dengan menggunakan data nilai kecepatan gelombang geser (Vs30) juga dilakukan oleh Nizar Dwi (2017) dengan menggunakan alat mikrotremor untuk identifikasi patahan lokal di sekitar sungai di Surabaya, Asmaul Mufida dkk. (2013) untuk mengetahui persebaran Vs30 di seluruh Surabaya dan Bahri dkk. (2016) juga melakukan penelitian mengenai kekuatan bangunan menggunakan analisa metode mikrotremor

2.3 Gelombang Elastis

Berdasarkan konsentrasi spasial energi gelombangnya, gelombang elastis dibagi menjadi dua, yaitu *body waves* dan *surface waves*.

2.3.1 Body Waves

Body waves atau gelombang badan merupakan gelombang yang pertama kali terekam sebelum *surface waves* ketika terdapat guncangan pada

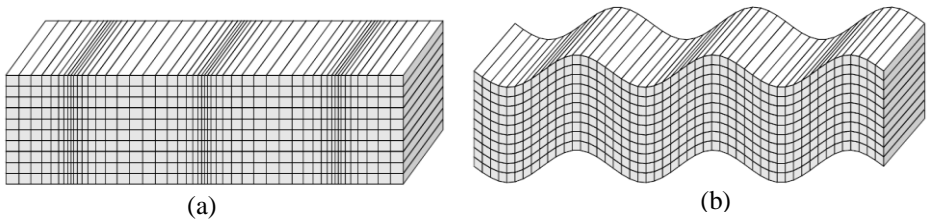
bumi. Gelombang ini memiliki frekuensi yang lebih tinggi daripada gelombang permukaan. Berdasarkan sifat gerakan partikel mediumnya, maka *body waves* dibagi menjadi dua, yaitu gelombang P dan gelombang S.

Gelombang P, yang disebut juga sebagai gelombang kompresi atau gelombang longitudinal, merupakan gelombang tercepat dalam gelombang seismik, dan merupakan gelombang pertama yang dapat terekam oleh seismogram. Gelombang P dapat bergerak melewati batuan padat dan fluida. Gerakan partikel pada gelombang ini searah dengan arah penjaralan gelombang, yaitu seperti mendorong dan menarik. (Novotny, 1999)

Persamaan gelombang P pada medium yang homogen dan isotropik dapat dituliskan :

$$V_p = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}} \quad (2.1)$$

Dimana λ , μ , dan ρ merupakan konstanta lame, modulus geser, dan densitas. (Shearer, 2009)



Gambar 2.2 Simulasi gelombang P (a) dan S (b) (Shearer, 2009)

Gelombang S, juga disebut gelombang transversal, merupakan gelombang dengan nilai kecepatan lebih rendah dari gelombang P. Gelombang ini memiliki gerakan partikel yang berarah tegak lurus terhadap penjaralan gelombang. (Novotny, 1999)

Persamaan Gelombang S pada medium yang homogen dan isotropik dituliskan :

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}} \quad (2.2)$$

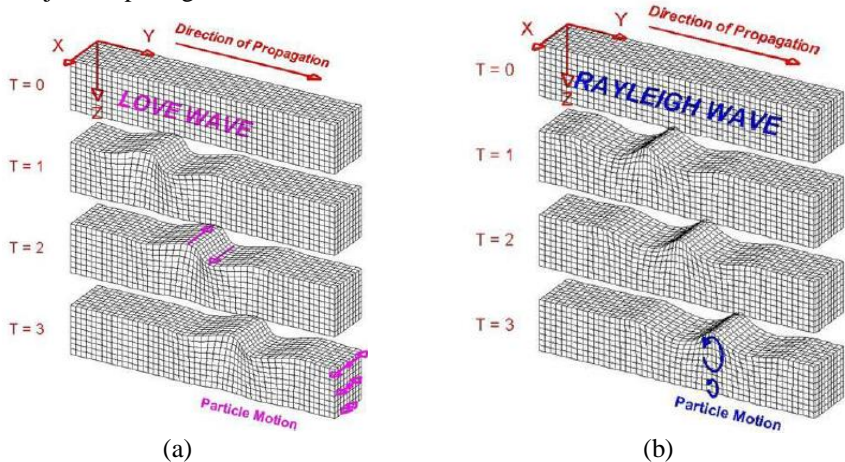
Pada V_s , apabila melewati fluida, maka nilai V_s adalah nol, hal ini dikarenakan modulus geser pada fluida yang bernilai nol.

2.3.2 Surface Waves

Surface waves, atau gelombang permukaan hanya baik menjalar pada kerak, dan memiliki frekuensi lebih rendah daripada gelombang badan. Meski

tiba pada seismogram setelah gelombang permukaan, gelombang ini mempunyai amplitudo yang besar sehingga mudah dideteksi. Gelombang ini berdasarkan sifatnya dibagi menjadi 2, yaitu gelombang rayleigh dan gelombang love.

Gelombang love, yang dinamakan berdasarkan penemu model matematis gelombang ini, merupakan gelombang tercepat dalam gelombang permukaan dan bergerak lewat permukaan dari sisi satu ke sisi lainnya. Gelombang ini menghasilkan pergerakan partikel secara horizontal, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5



Gambar 2.3 Gelombang love (a) dan gelombang rayleigh (b) ketika melewati medium pada waktu tertentu.

Gelombang rayleigh merupakan gelombang yang bergerak memutar yang seperti kombinasi gerakan partikel gelombang P dan S, yaitu berbentuk *ellips*. Sumbu mayor *ellips* tegak lurus dengan permukaan dan sumbu minor sejajar dengan arah penalaran gelombang.

Dalam metode seismik, sumber akan memancarkan kombinasi gelombang P, gelombang S, dan gelombang rayleigh. Sekitar 67% dari energi seismic dari sumber terdapat pada gelombang rayleigh (salahsatunya *groundroll*) sedangkan 23% pada gelombang S dan 10% pada gelombang P. (Everett, 2013)

Amplitudo gelombang rayleigh menurun secara eksponen terhadap kedalaman. Pada penetrasi kedalaman yang sebanding dengan 1 panjang gelombang, perpindahan pada medium menyebabkan amplitudo berkurang 30% terhadap amplitudo pada permukaan.

Nilai kecepatan gelombang rayleigh (V_R) selalu lebih rendah daripada kecepatan gelombang S (V_S). Hubungan antara V_R dan V_S terdapat pada sifat mekanik pada medium gelombang. Kecepatan gelombang rayleigh untuk batuan yang isotropik dirumuskan oleh Bergmann sebagai :

$$V_R = \frac{0,87+1,12\nu}{1+\nu} V_S \quad (2.3)$$

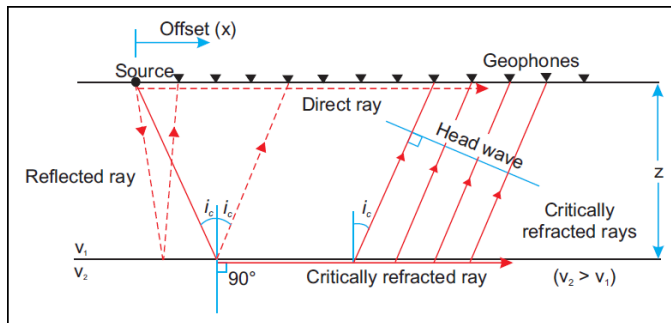
Dengan ν merupakan *poisson ratio*. Pada daerah dengan litologi berpasir atau batu kerikil, nilai dari *poisson ratio*-nya yaitu antara 0,25 – 0,35 (Ólafsdóttir, 2014). Dengan menganggap nilai $\nu = 0,3$ maka perkiraan nilai dari V_R yaitu sebesar

$$V_R \approx 0,93 V_S \quad (2.4)$$

2.4 Sesimik Refraksi

2.4.1 Prinsip Sesimik Refraksi

Kecepatan akustik yang melaju melalui *sub-surface* bervariasi dengan komposisi material dan kompaksi. Energi seismik yang berasal dari sumber di permukaan akan mengalami refraksi pada batas antara media yang berbeda dan akhirnya kembali ke permukaan. Survei seismik refraksi memanfaatkan fenomena ini untuk menentukan struktur tanah dengan mengamati waktu yang dibutuhkan energi untuk menjalar melalui bawah permukaan. (Reynolds, 2011)

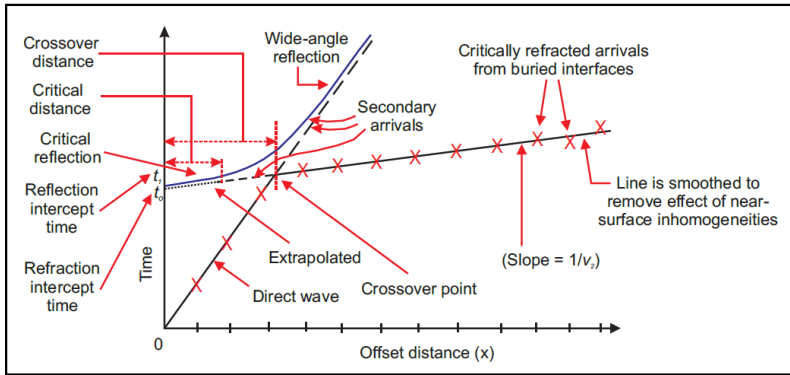


Gambar 2.4 Penjalaran *body waves* pada metode seismik (Reynolds, 2011)

Pada metode ini, gelombang yang terjadi setelah sinyal pertama (*firstbreak*) diabaikan, karena gelombang seismik refraksi merambat paling cepat dibandingkan dengan gelombang lainnya kecuali pada jarak *offset* yang relatif dekat sehingga yang dibutuhkan adalah waktu pertama kali gelombang diterima oleh setiap *geophone*, seperti ditunjukkan pada gambar 2.6. Parameter jarak dan waktu penjalaran gelombang dihubungkan dengan cepat rambat gelombang dalam medium. Besarnya kecepatan rambat gelombang tersebut dikontrol oleh sekelompok konstanta fisis yang ada dalam material yang dikenal sebagai parameter elastisitas (Nurdiyanto dkk., 2011). Elastisitas batuan yang berbeda-beda menyebabkan gelombang merambat melalui lapisan batuan dengan kecepatan yang berbeda-beda.

2.4.2 Pengolahan dan Interpretasi Sesimik Refraksi

Waktu penjaralan gelombang ketika dari sumber menuju lintasan receiver direkam dengan seismograf digital. Seismograf digital menyajikan data rekaman gelombang tersebut dengan grafik *offset* terhadap waktu (X-T) plot (Gambar 2.7). Kedatangan gelombang pertama (selalu dimulai pada nol waktu tempuh dan nol offset) mewakili gelombang langsung. Penurunan linier pada garis gradien menunjukkan lapisan pertama yang terdapat pada bawah permukaan. Pada interpretasi metode seismik refraksi, parameter yang didapatkan adalah kecepatan gelombang P atau V_p .

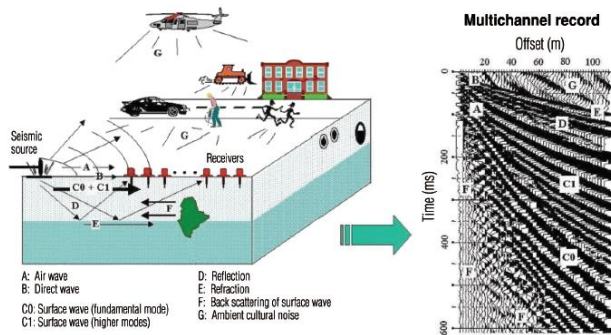


Gambar 2.5 Grafik plot *offset* terhadap waktu penjaralan (X-T) (Reynolds, 2011)

2.5 Multichannel Analysis Surface Wave

2.5.1 Prinsip Multichannel Analysis Surface Wave

Menurut Park (2007), pendekatan seismik konvensional untuk penyelidikan di dekat permukaan biasanya mencari refleksi atau refraksi yang mempunyai resolusi tinggi dan berhubungan dengan kedalaman puluhan sampai ratusan meter. Metode *Multichannel Analysis Surface Wave* (MASW) berhubungan dengan gelombang permukaan pada frekuensi rendah (misalnya, 1-30 Hz), dan menggunakan rentang kedalaman yang jauh lebih dangkal (hanya sampai beberapa puluh meter). Metode ini biasa digunakan dalam *near-surface investigation*, dengan memanfaatkan sifat dispersi gelombang permukaan dengan tujuan untuk *profiling* V_s dalam 1D (kedalaman) atau 2D (kedalaman dan lokasi permukaan). Pada dasarnya metode ini merupakan metode seismik yang direkam dengan menggunakan konfigurasi *multichannel* (24 atau lebih) dan susunan *receiver* yang dibentangkan jaraknya hingga ratusan meter untuk mendapatkan kedalaman yang sesuai (misalnya, jarak 2-200 m). (Choon B. Park dkk., 2007)



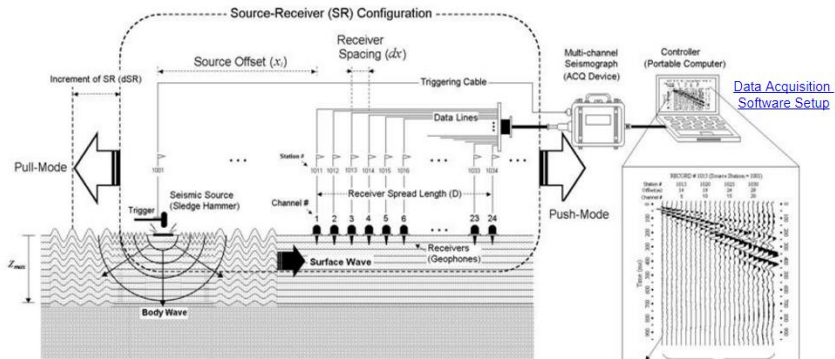
Gambar 2.6 Jenis-jenis gelombang terekam pada akuisisi MASW. (Choon B. Park dkk., 2007)

Gelombang-gelombang seismik dapat saling mempengaruhi satu sama lain selama analisis sifat dispersi mereka tidak diinterpretasikan dengan benar. Dengan pendekatan multichannel, sifat dispersi dari semua jenis gelombang (baik gelombang tubuh dan permukaan) digambarkan melalui *wavefield-transformation method* yang secara langsung mengubah rekaman multichannel menjadi gambar dimana pola dispersi spesifik dapat dikenali dalam distribusi energi yang berubah. Kemudian, properti dispersi yang diperlukan (seperti mode fundamental) diekstraksi dari pola yang teridentifikasi. Semua gelombang refleksi/yang tersebar biasanya otomatis hilang selama transformasi. Jika disimpulkan, prosedur untuk MASW biasanya terdiri dari tiga tahap: (1) akuisisi lapangan untuk mendapatkan rekaman seismiknya; (2) mengekstraksi kurva dispersi dari setiap data rekam; dan (3) pemodelan inversi kurva dispersi ini untuk mendapatkan profil Vs 1D (kedalaman) (satu profil dari satu kurva).

2.5.2 Akuisisi *Multichannel Analysis Surface Wave (MASW)*

Untuk akuisisi data, *geophone* ditempatkan lurus pada sebuah *line* pada permukaan lokasi pengukuran, seperti ditunjukkan pada gambar 2.6. *Geophone* dihubungkan pada alat perekam dan computer yang telah tersedia *software* yang dibutuhkan untuk akuisisi. *Geophone* dengan frekuensi rendah (contoh 4.5 Hz) sangatlah direkomendasikan. (Ólafsdóttir, 2014)

Jumlah *geophone* yang dibutuhkan biasanya 12 atau lebih, yang disetiap *geophone* terhubung pada channel perekam yang terpisah (Choon B. Park dkk., 2007). Umumnya, dengan menambah jumlah *geophone* yang dipakai untuk akuisisi, resolusi penggambaran dispersi yang didapatkan akan semakin tinggi. Namun, hanya berlaku apabila diimbangi dengan penambahan panjang bentangan *geophone*. Spasi *geophone* yang lebih panjang tentu sangat direkomendasikan selama tidak menimbulkan permasalahan *spatial aliasing* (Choon B Park dkk., 2002)



Gambar 2.7 Akuisisi MASW (Choon B. Park dkk., 2007)

Pada umumnya, sumber getaran yang lebih besar akan menghasilkan kedalaman investigasi yang lebih besar juga. Untuk panjang bentangan (L), biasa dikaitkan dengan Panjang gelombang maksimum. Dalam menganalisa Panjang bentangan *receiver* yang baik, Park dan Carnavale (2010) mengasumsikan bahwa panjang gelombang maksimum diperhitungkan nilainya hampir sebanding dengan panjang bentangan *receiver*.

$$z_{max} \approx 0.5\lambda_{max} \approx L \quad (2.5)$$

Pada praktiknya, bentangan *receiver* yang sangat panjang harus dihindari. Gelombang permukaan yang dipancarkan oleh sumber gelombang akan menjadi teratenuasi dibawah tingkat *noise* pada akhir *receiver* yang letaknya jauh dari sumber, membuat sinyal terlalu buruk untuk dipakai. (Choon B. Park dan Carnevale, 2010)

2.5.3 Analisa Kurva Dispersi

Terdapat banyak sekali metode dalam menganalisa kurva dispersi, salahsatu metode yang sering dipakai yaitu *phase-shift method* atau biasa diketahui sebagai *wavefield transform method*). Metode ini dikembangkan oleh Park, dkk (1998) yang memanfaatkan teknik transformasi gelombang untuk menghasilkan spektrum kecepatan fase (grafik kurva dispersi) yang berdasarkan pada *shot gather* pada akuisisi *multichannel*. Metode *phase-shift* dapat dibagi menjadi tiga tahap, yaitu:

1. Transformasi fourier dan normalisasi amplitudo
2. Penggambaran dispersi
3. Ekstraksi kurva disperse

Alur metode ini digambarkan berbentuk diagram alur oleh Elin Asta (2014) seperti pada gambar 2.8.

1. Fourier transformation and amplitude normalization

- ① $u_j(t) \xrightarrow{FFT} \tilde{u}_j(\omega) \quad j = 1, 2, 3, \dots, n$
- ② $\tilde{u}_{j,norm}(\omega) = \frac{\tilde{u}_j(\omega)}{|\tilde{u}_j(\omega)|} = P_j(\omega)$

2. Dispersion imaging

- ③ $V_{R,t}$: Testing Rayleigh wave phase velocity
 $V_{R,t,min} \leq V_{R,t} \leq V_{R,t,max}$
- ④ ϕx_j : Phase shifts corresponding to a given set of ω and $V_{R,T}$
 $\phi x_j = \frac{\omega x_j}{V_{R,T}} = \frac{\omega(x_1 + (j-1)dx)}{V_{R,T}}$
- ⑤ $A_s(\omega, V_{R,T})$: Summed amplitude for a given set of ω and $V_{R,T}$
 $A_s(\omega, V_{R,T}) = e^{-i\phi x_1} \tilde{u}_{1,norm}(\omega) + \dots + e^{-i\phi x_n} \tilde{u}_{n,norm}(\omega)$
- ⑥ Repeat ④ and ⑤ for varying ω and $V_{R,T}$

3. Extraction of dispersion curves

- ⑦ $A_s(\omega, V_{R,t}) \xrightarrow{\text{extract peak values}} \text{Rayleigh wave dispersion curve(s)}$

Gambar 2.8 Alur ekstraksi kurva dispersi pada *phase-shift method* (Ólafsdóttir, 2014)

2.6 Poisson Ratio

Poisson ratio Atau rasio poisson adalah ukuran besarnya regangan pada suatu benda berupa kontraksi pada arah transversal dan regangan pada arah longitudinal akibat dikenai tekanan (Gercek, 2007). Apabila diterapkan pada medium silinder, maka arah transversalnya merupakan diameter silinder (D) dan arah longitudinal merupakan panjang silinder (L), sehingga rasio poisson dinyatakan sebagai rasio negatif *strain longitudinal* dengan *strain axial*:

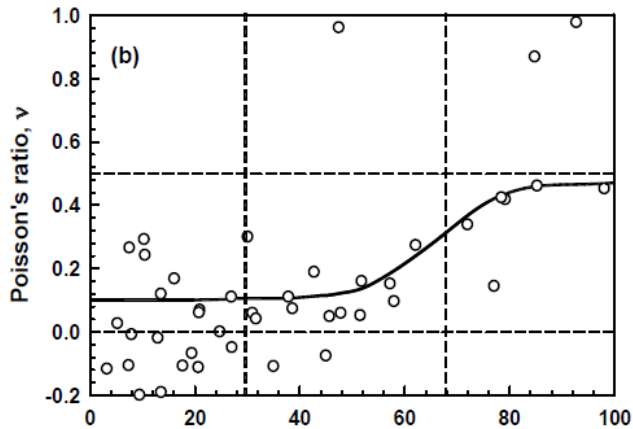
$$\nu = \frac{\text{kontraksi transversal}}{\text{regangan longitudinal}} \quad (2.6)$$

Umumnya terdapat 2 metode dalam menentukan parameter ini. Pertama yaitu dengan *uniaxial loading test* untuk menghitung rasio dari perenggangan secara radial maupun axial (persamaan 2.6), dan disebut metode perhitungan

secara statik. Kedua yaitu pengukuran kecepatan kompresi dan keceoatan geser (V_p dan V_s) pada batuan melalui data seismik, atau *sonic logging*, biasa disebut metode perhitungan secara dinamik. Metode ini menggunakan perhitungan (Zhang dan Bentley, 2005):

$$\nu = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)} \quad (2.7)$$

Poisson ratio merupakan parameter yang sangat peka terhadap keberadaan fluida. Umumnya, nilai poisson ratio akan semakin tinggi apabila pori batuan terisi oleh fluida, seperti air. Oh dan Vanapalli (2011) telah melakukan penelitian megenai hubungan antara poisson ratio dengan derajat saturasi, dimana penelitian dilakukan pada data yang diperoleh dari Mendoza dkk (2005).

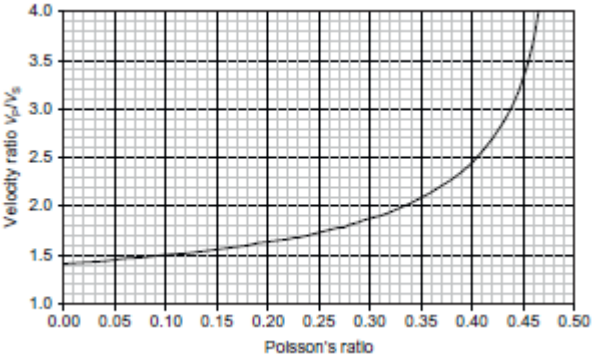


Gambar 2.9 Pengaruh derajat saturasi terhadap poisson ratio (Mendoza dkk., 2005)

Gambar 2.9 merupakan pengaruh derajat saturasi terhadap nilai poisson ratio tanah, dari penggambaran tersebut, terlihat bahwa derajat saturasi sangat memengaruhi poisson ratio. Hal ini tidak terlepas dari karakteristik V_p yang akan naik nilainya ketika terdapat fluida dalam batuan. Namun, berbanding terbalik dengan V_s yang akan relative menurun, sehingga V_p/v_s rasionya akan meninggi.

Simbol yang sering diberikan untuk menyatakan poisson ratio selain ν adalah V_p/V_s , meskipun sebenarnya perhitungannya bukan hanya dengan V_p/V_s . rasio V_p/V_s hanya membantu poisson ratio untuk memberikan hasil data dengan skala nilai yang lebih luas, mengingat range poisson ratio yang hanya dari -1 sampai dengan 0.5. V_p/V_s data digunakan juga untuk mengetahui tingkat

saturasi batuan, dimana semakin tinggi dapat diasumsikan bahwa batuan tersebut mengalami kejenuhan. Hubungan dari V_p/V_s terhadap poisson ratio dapat terlihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Hubungan V_p/V_s terhadap poisson ratio (Schön, 2011)

Berikut merupakan karakterisasi tanah berdasarkan nilai *poisson ratio*-nya menurut Davidovici (1985) dan Bourbie dkk. (1986) yang jenis batumannya sesuai dengan penelitian ini dan diklasifikasikan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi nilai *poisson ratio*

Jenis Tanah	ν	Sumber
Lempung jenuh	0.45 - 0.5	Davidovici (1985)
Lempung tak jenuh	0.4 – 0.45	Davidovici (1985)
Lempung berpasir	0.35 – 0.4	Davidovici (1985)
Pasir, pasir berkerikil	0.25 – 0.3	Davidovici (1985)
Pasir berlanau, pasir berlempung	0.3 – 0.35	Davidovici (1985)
Pasir jenuh air	0.4 – 0.48	Bourbie dkk (1986)

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Data dan Perangkat Lunak

3.1.1 Data

Pada penelitian tugas akhir ini data yang didapat yaitu data seismik yang diakuisisi di wilayah Surabaya, yang selanjutnya diolah menjadi data V_p , V_s dan *poisson ratio*.

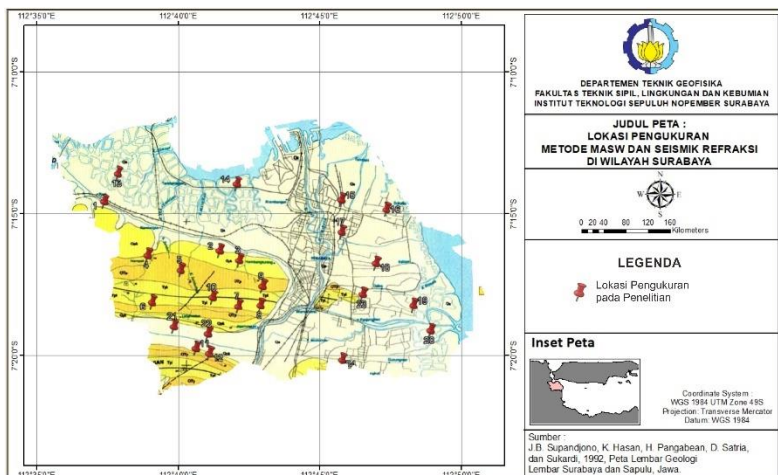
3.1.2 Alat dan Perangkat Lunak

Alat dan perangkat lunak yang digunakan mulai dari akuisisi hingga interpretasi pada penelitian ini yaitu :

1. Perangkat alat seismik beserta software akuisisi
2. Microsoft Excel
3. Software pengolahan MASW
4. Software pengolahan seismik refraksi
5. Software pemetaan *poisson ratio*

3.2 Lokasi Akuisisi dan Penampang

Akuisisi dilakukan pada 24 titik pengukuran yang tersebar di seluruh Surabaya. 24 titik tersebut selanjutnya akan dibuat penampang Poisson Ratio 2D sebanyak 10 penampang. Lokasi akuisisi dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Lokasi akuisisi penelitian

Selanjutnya ditampilkan koordinat letak akuisisi beserta penampang dan formasi yang direpresentasikan (Tabel 3.2). Khusus pada titik 23 dan 24, merupakan data titik untuk penampang tambahan yang melintang dari utara menuju selatan Surabaya untuk mengetahui perbedaan persebaran *poisson ratio* pada formasi yang berbeda. Penampang tambahan tersebut yaitu penampang 9 (tambahan 1) dengan menggunakan titik 14, 2, 10, 22, dan 12 dan penampang 10 (tambahan 2) dengan menggunakan titik 16, 18, 23, dan 24.

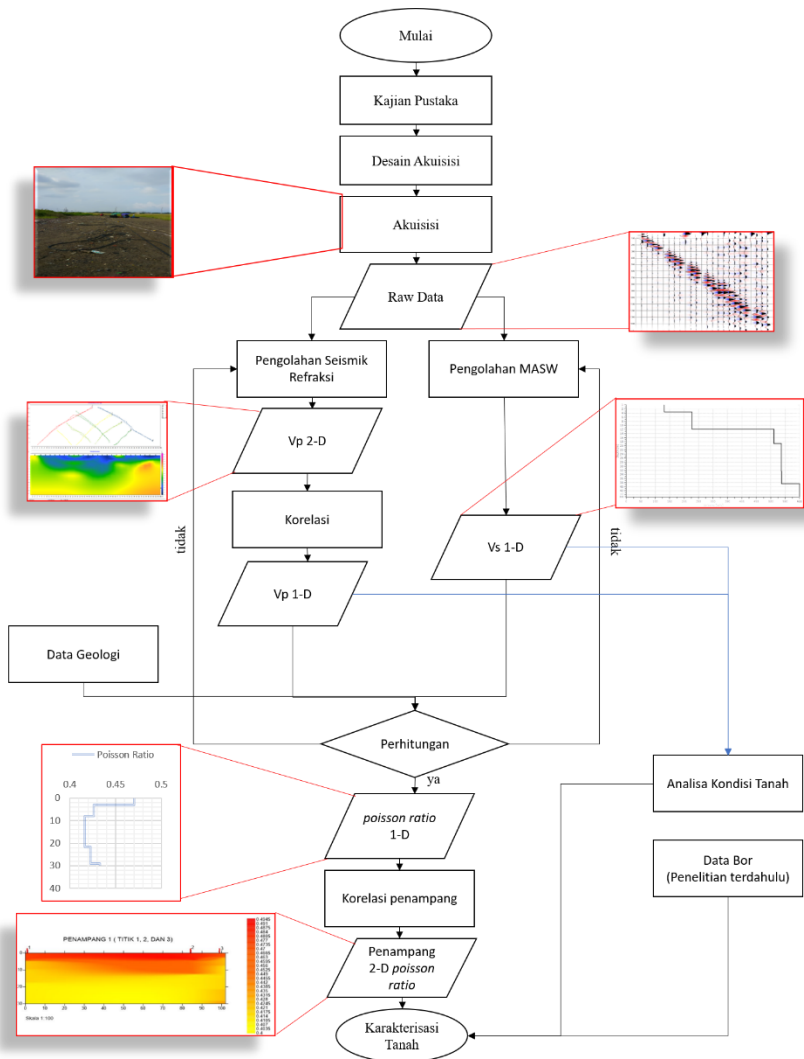
Tabel 3.1 Lokasi, formasi, dan penampang pemodelan titik pengukuran

Penampang Ke-	Titik Ke-	Lintang	Bujur	Formasi
1	1	7°14.366'S	112°36.577'E	Qpk (Antiklin Lidah)
	2	7°16.161'S	112°40.851'E	
	3	7°16.517'S	112°41.569'E	
2	4	7°16.326'S	112°38.194'E	Qtp (Antiklin Lidah)
	5	7°16.869'S	112°39.410'E	
3	6	7°18.035'S	112°38.353'E	Qtp (Antiklin Lidah)
	7	7°18.177'S	112°41.532'E	
	8	7°18.147'S	112°42.349'E	
4	9	7°17.452'S	112°42.426'E	Tpl (Antiklin Lidah)
	10	7°17.862'S	112°40.586'E	
5	11	7°19.699'S	112°39.963'E	Tpl (Antiklin Guyangan)
	12	7°19.884'S	112°40.458'E	
6	13	7°13.339'S	112°37.085'E	Qa
	14	7°13.724'S	112°41.494'E	
	15	7°14.307'S	112°45.366'E	
	16	7°14.662'S	112°47.028'E	
7	17	7°15.483'S	112°45.364'E	Qa

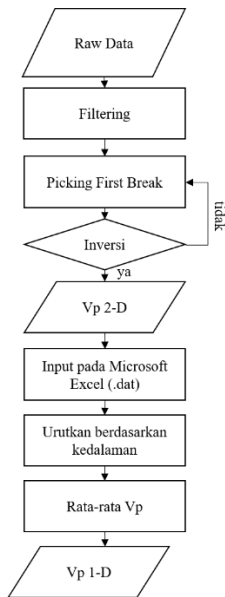
	18	7°16.625'S	112°46.620'E	
	19	7°18.151'S	112°47.982'E	
	20	7°19.056'S	112°48.599'E	
8	21	7°18.914'S	112°39.150'E	Qa
	22	7°19.170'S	112°40.409'E	
	23	7°17.747'S	112°46.123'E	Tpl
	24	7°20.122'S	112°45.336'E	Qpk

3.3 Diagram Alir

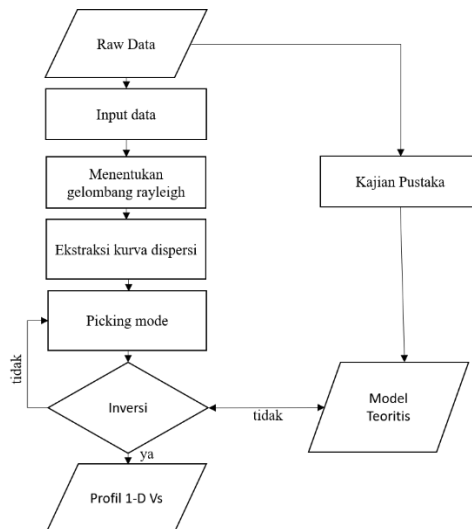
Diagram alir tugas akhir dibagi menjadi 3 diagram, yaitu diagram alir secara umum (gambar 3.2), diagram alir pemodelan 1-d nilai kecepatan gelombang P (V_p) (gambar 3.3), dan diagram alir pemodelan 1-d nilai kecepatan gelombang S (V_s) (gambar 3.4). Diagram pemodelan 1-D V_p dan diagram pemodelan 1-D V_s merupakan penjabaran dari diagram alir secara umum.



Gambar 3.2 Diagram alir tugas akhir



Gambar 3.3 Diagram alir pemodelan 1-D Vp



Gambar 3.4 Diagram alir pemodelan 1-D Vs

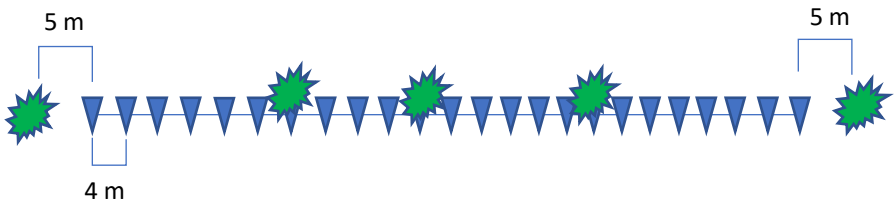
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

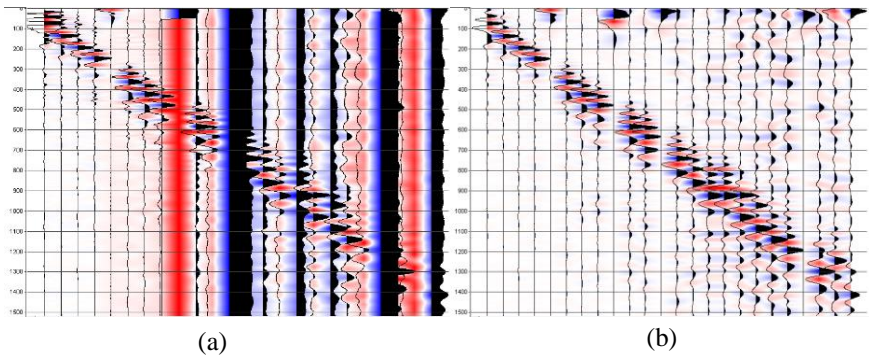
4.1 Akuisisi dan Kontrol Kualitas Data Mentah

Akuisisi atau pengambilan data seismik dilakukan pada 24 titik di wilayah Surabaya. Bentangan yang digunakan pada tiap titik yaitu 92 meter, dengan 24 *geophone* pada tiap 4 meter. Pukulan dilakukan sebanyak 5 kali pada meter ke 28 m, 44 m, 60 m, dan titik pukul pada *offset* 5 meter di tiap sisi. Parameter akuisisi yang digunakan yaitu dengan *record time* 2 s dan *sampling rate* 1 ms. Pada saat di lapangan, dilakukan juga control kualitas data agar data yang diolah nantinya dapat merepresentasikan kondisi titik pengukuran.



Gambar 4.1 Desain akuisisi

Akuisisi data seismik yang menggunakan alat GeoSAM dengan satu setnya menghasilkan data *shot gather* pada tiap shot. Artinya, pada tiap titik akan menghasilkan 5 *shot gather*. Hasil *shot gather* yang didapatkan selanjutnya dapat dilihat secara langsung saat di lapangan pengukuran. Hal ini dapat digunakan sebagai bentuk *quality control* pada saat akuisisi dilakukan, apabila data yang didapat masih tidak terlihat jelas, maka akan dilakukan pengulangan pukulan. Agar data dapat lebih terlihat, maka dilakukan juga *filtering*, yaitu *band-pass filter* dengan batas frekuensi yang menyesuaikan dengan spektrum data. Pada gambar 4.2 merupakan hasil *shot gather* pada salah satu titik shot yang menunjukkan perbedaan hasil antara raw data sebelum dan sesudah mengalami proses *filtering*.

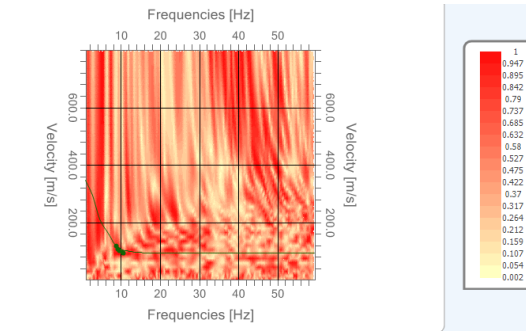


Gambar 4.2 Data *shot gather* sebelum (a) dan sesudah (b) *filtering* (batas filter frekuensi yang digunakan 3 Hz, 8 Hz, 25 Hz, 40 Hz)

4.2 Pengolahan Vs

Pengolahan Vs dilakukan menggunakan *software* pengolahan Vs memanfaatkan hubungan antara gelombang rayleigh terhadap gelombang transversal. Data diolah pada 2 *shot offset*, yaitu pada sumber dekat *geophone* awal dan pada *geophone* akhir. Hasil pengolahan pada tahap ini adalah pemodelan 1-D Vs pada tiap *shot*. Untuk mendapatkan data 1-D Vs pada 1 titik, maka hasil data Vs 1-D pada 2 *shot* dirata-ratakan. Pada pengolahan ini, terdapat 3 tahapan untuk mendapatkan profil Vs, yaitu ekstraksi kurva dispersi, *picking* kurva dispersi, dan inversi profil Vs.

Pada proses ekstraksi kurva dispersi, data *shot gather* yang telah di-*filter* dan telah ditentukan gelombang permukaannya akan diekstrak menjadi kurva dispersi. Kurva dispersi merupakan kurva hubungan frekuensi terhadap kecepatan fase yang menunjukkan besar energi amplitudo pada tiap data. Proses ekstraksi telah dijelaskan pada Bab 2. Pada kurva, besar kecilnya energi amplitudo pada data ditunjukkan dengan warna merah dan putih. Semakin besar energi amplitudo maka warna pada grafik akan semakin merah, seperti pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Kurva dispersi pada salah satu titik yang telah di-*picking*

Titik berwarna hijau pada gambar 4.3 merupakan *picking* dispersi yang kita tentukan berdasarkan besarnya amplitudo dan prinsip dari MASW. *Picking* dilakukan pada saat terjadinya dispersi atau pembelokan besar energi amplitudo pada frekuensi tertentu, dengan tujuan untuk menentukan besar V_s pada lapisan permukaan hingga saat melewati lapisan-lapisan selanjutnya (umumnya besar V_s akan semakin tinggi ketika semakin dalam). Berdasarkan Park (2007), yang menyatakan bahwa gelombang permukaan memiliki rentang frekuensi 1-30 Hz. Selain itu, *picking* dilakukan pada kurva dengan tingkat energi amplitudo yang besar. *Picking* juga disesuaikan pula dengan model sintetik yang dibuat dengan referensi-referensi yang ada sebagai data pendukung untuk *picking*, sehingga bentuk *picking* dapat terlihat lebih nyata dengan kondisi lapangan. Model sintetik pada gambar 4.3 ditunjukkan dengan garis hijau pada kurva. Batas kecepatan dan batas frekuensi pada kurva juga dapat diatur dengan tujuan untuk memperjelas kurva amplitudonya.

Selanjutnya yaitu tahap inversi. Proses inversi sangat bergantung pada *picking* gelombang yang dilakukan secara manual. Pada proses ini, akan dicari model perlapisan V_s 1-D dengan tingkat *error* terkecil dengan iterasi dan perlapisan yang dapat ditentukan. Pada penelitian ini, digunakan iterasi sebanyak 1000 kali dengan model perlapisan sebanyak 6. Pada dasarnya, *picking* akan digunakan sebagai data observasi dimana hasil model inversi akan menyesuaikan data observasi. Asumsi yang digunakan yaitu dengan mengabaikan adanya akuifer dangkal, sehingga nilai V_s akan semakin membesar terhadap kedalaman, hal ini diakibatkan oleh semakin besarnya tekanan yang didapatkan pada lapisan akibat semakin mendekati pusat gravitasi bumi, sehingga membuat lapisan yang berada pada kedalaman yang dangkal akan relatif memiliki densitas rendah dibanding yang dalam.

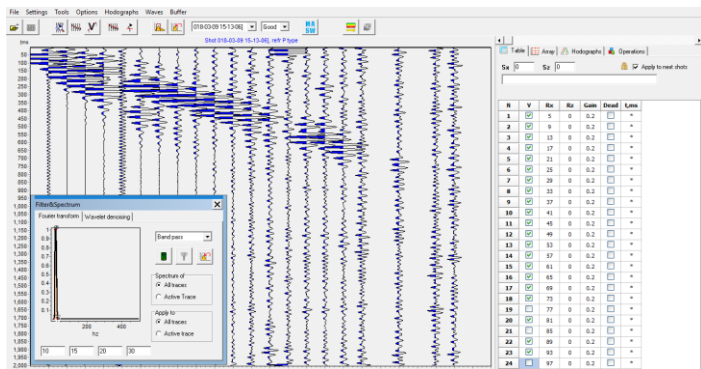
4.3 Pengolahan V_p

Pada Philip Kearey dkk. (2002), metode seismik refraksi memanfaatkan energi seismik yang kembali menuju permukaan setelah gelombang dari sumber

mengalami refraksi. Gelombang pertama yang terdeteksi oleh *receiver* dari sumber seismik selalu gelombang langsung ataupun gelombang refraksi. Fakta ini yang dimanfaatkan metode seismik refraksi dengan lebih terkonsentrasi pada gelombang tiba pertama, untuk memberikan informasi lapisan pada kedalaman tertentu (umumnya pada kedalaman dangkal).

Pada penelitian ini digunakan *software* pengolahan seismik refraksi untuk mendapatkan hasil inversi 2-D Vp. Pada dasarnya, dalam pengolahan Vp 2-D dibagi menjadi 3 tahapan, yaitu *input data*, *filter data*, *picking first break*, dan inversi 2-D. Pengolahan Vp dilakukan dengan memanfaatkan metode seismik refraksi menggunakan 5 *shot gather* yang didapatkan pada tiap titik.

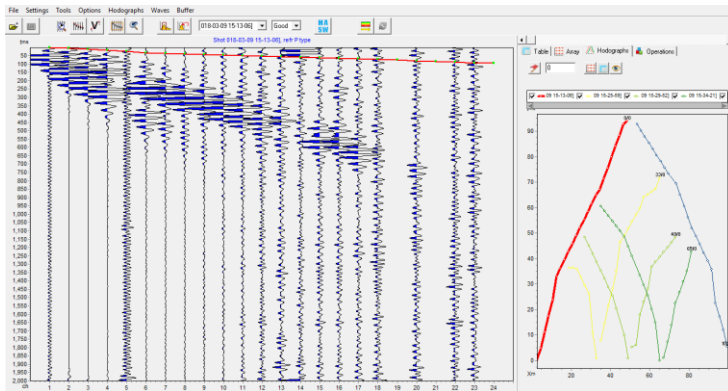
Tahap pertama yaitu *input data dan filtering*. *Input data* dilakukan termasuk dengan mengatur konfigurasi akuisisi seperti spasi dan letak *source* pada 3 komponen, yaitu x, y, dan z. Setelah itu, dilakukan *filter data*, yang dilakukan pada *software* pengolahan. Pada penelitian ini digunakan *band-pass filter*. Batas frekuensi yang digunakan sangat mempertimbangkan spektrum gelombang yang terbaca pada tiap shot, sehingga *first break* dapat terlihat. Hal ini dikarenakan gelombang yang terbaca bukan hanya gelombang dari sumber, namun terdapat juga gelombang dari *noise* pada frekuensi yang beragam, sehingga perlu pengaturan batas frekuensi yang berbeda. Gambar 4.4 menunjukkan proses dan hasil *input data* beserta *filtering* pada titik 2 *shot* 1. *Filter* yang diterapkan yaitu *band-pass filter* dengan batas frekuensi 10 Hz, 15 Hz, 20 Hz, 30 Hz.



Gambar 4.4 Data *shot gather* pada titik 2 *shot* 1 yang telah di-*filter*.

Selanjutnya yaitu tahap *picking first break*. Seperti yang dijelaskan, bahwa metode ini memanfaatkan gelombang tiba pertama yang berasal dari sumber merupakan gelombang refraksi. Sehingga, *picking first break* dilakukan sebagai data observasi dalam proses inversi menjadi data Vp pada kedalaman tertentu. Dalam proses *picking*, data geologi sangatlah diperlukan sebagai data tambahan dan acuan dalam menentukan first break apabila data gelombang kurang baik. Pada umumnya, semakin padat suatu batuan, maka pergerakan

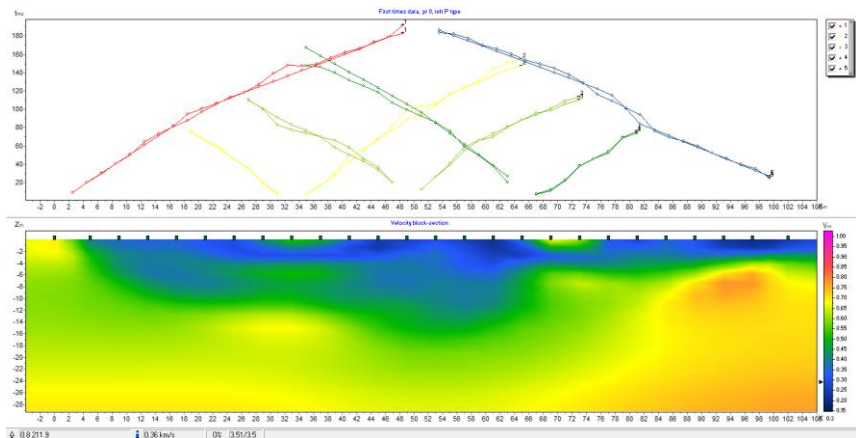
waktu tiba gelombang pertama akan semakin cepat. Pada gambar 4.5 ditunjukkan hasil picking first break pada titik 2 shot 1.



Gambar 4.5 *picking first break* beserta kurva *hodograph* pada titik 2 shot 1 (garis merah pada kedua sisi).

Selain data geologi, hal yang harus dipertimbangkan untuk menilai apakah *picking* kita sudah sesuai apa belum adalah dengan melihat kurva *hodograph* pada *software*. Kurva *hodograph* pada gambar 4.5 ditunjukkan pada sisi kanan sebelah data gelombang. Kurva ini merupakan kurva *offset* akuisisi terhadap waktu tiba gelombang pertama. Kurva *hodograph* memberikan informasi picking pada tiap shot, yang tiap warnanya merepresentasikan tiap sumber. Asumsi yang digunakan yaitu waktu tiba gelombang pertama yang terbaca terlebih dahulu merupakan *geophone* yang terdekat dari sumber. Setelah data telah di-*picking*, maka dilanjutkan pada tahapan selanjutnya, yaitu tahap inversi 2-D.

Pada tahap inversi akan didapatkan penampang 2-D V_p terhadap kedalaman yang memanfaatkan data observasi, yaitu *picking first break* yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya. Terdapat berbagai metode inversi yang terdapat pada *software*, namun yang digunakan yaitu metode inversi *smoothness constrained*. Gambar 4.6 menunjukkan hasil inversi 2-D V_p pada titik 2 dengan kedalaman maksimum sebesar 30 m. Inversi dilakukan dan dapat diulang hingga model yang didapat sudah sesuai dengan kondisi geologi pada titik dan nilai *RMS error* yang didapat kecil (pada penelitian ini batas maksimum *RMS error* sebesar 10). Pada titik 2 didapat V_p hingga 1630 m/s dengan *RMS error* sebesar 4.18



Gambar 4.6 Hasil inversi 2-d pada titik 2

Setelah dilakukan pengolahan 2-D Vp, maka dilakukan pengolahan untuk mendapatkan 1-D Vp. Pengolahan 1-D Vp dilakukan untuk menyesuaikan hasil inversi Vs yang membentuk profil 1-D terhadap kedalaman. Pengolahan Vp 1-D dilakukan pada *software Microsoft Excel*. Terlebih dahulu model 2-D di simpan dalam format .dat yang kemudian dibuka pada *Microsoft Excel*. Data model selanjutnya diurutkan berdasarkan kedalaman (pada awalnya berdasarkan spasi *geophone*). Untuk mendapatkan Vp 1-D, maka nilai Vp pada kedalaman yang sama dirata-ratakan. Dengan asumsi perlapisan homogen isotropis, maka data Vp-mean 1-D didapatkan.

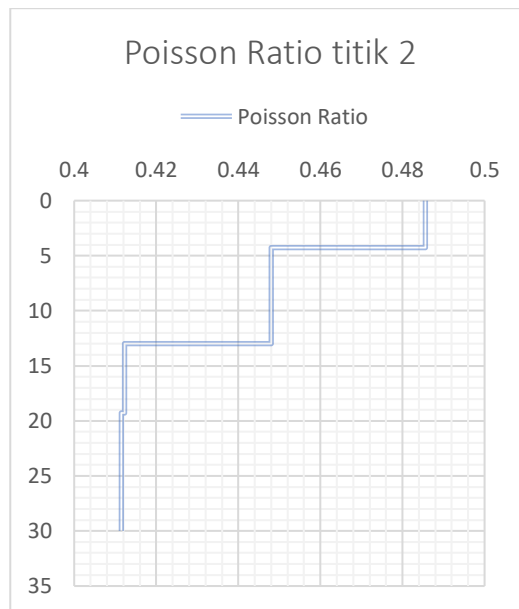
4.4 Pengolahan *Poisson Ratio*

Poisson ratio bisa didapatkan dengan memanfaatkan kecepatan elastis batuan, yaitu Vp dan Vs. Pada penelitian ini, didapatkan nilai *poisson ratio* tiap titik yang dimodelkan secara 1-D dan selanjutnya akan dimodelkan menjadi 2-D dengan membuat penampang model yang menghubungkan tiap titik. Penampang yang dibuat merupakan representasi tiap formasi pada wilayah Surabaya. Pada penelitian ini, dibuat 8 penampang dengan rincian 1 penampang pada Formasi kabuh, 2 penampang pada Formasi Pucangan, 2 penampang pada Formasi Lidah, dan 3 penampang pada Formasi Alluvium. Selain menampilkan 8 penampang tersebut, juga ditampilkan penampang yang merupakan hasil perpotongan tiap formasi. Penampang ini berjumlah 2 buah, dengan arah utara menuju ke selatan. Pada pengolahan ini, dilakukan 3 tahap, yaitu tahap input data Vs dan Vp-mean (data Vp yang telah di rata-rata berdasarkan kedalaman hasil inversi Vs 1-D), perhitungan nilai *poisson ratio*, dan pemodelan 2D.

Tahap pertama yaitu *input data Vs dan Vp-mean*. Data Vs terhadap kedalaman yang diperoleh dari inversi gelombang rayleigh terlebih dahulu dimasukkan pada *sheet* perhitungan *poisson ratio*. Agar data kedalaman yang

digunakan untuk pemodelan lebih stabil pada pemodelan 2-D, maka data yang dimasukkan merupakan data pada tiap kedalaman 1 m. Setelah data Vs telah dimasukkan, maka data $V_p\text{-mean}$ dimasukkan. Terlebih dahulu, agar memberikan hasil yang lebih baik, maka data nilai V_p dirata-ratakan dengan menyesuaikan kedalaman hasil inversi Vs 1-D. Hal ini dilakukan agar data *poisson ratio* yang dimodelkan dapat memberikan hasil yang lebih mudah diinterpretasikan.

Tahap kedua yaitu perhitungan *poisson ratio*. Perhitungan *poisson ratio* didasarkan pada persamaan 2.8. Hasil perhitungan *poisson ratio* kemudian dievaluasi kembali, apakah sesuai dengan data pengikat yang telah ada. Pada penelitian ini digunakan 2 data pengikat untuk evaluasi *poisson ratio*, yaitu data bor dan peta geologi lembar Surabaya-Sappulu oleh Supandjono dkk. (1992). Kedua data ini digunakan dalam interpretasi karakterisasi tanah wilayah Surabaya. Apabila nilai masih belum sesuai dengan interpretasi litologi oleh kedua data pengikat, maka dilakukan pengolahan Vs dan V_p kembali, agar diperoleh nilai *poisson ratio* yang rasional. Sehingga, pada 1 titik diperoleh nilai *poisson ratio* pada kedalaman hingga 30 m. Pada gambar 4.7 merupakan hasil *poisson ratio* perhitungan V_p dan Vs pada titik 2 yang ditampilkan dalam bentuk 1-D.

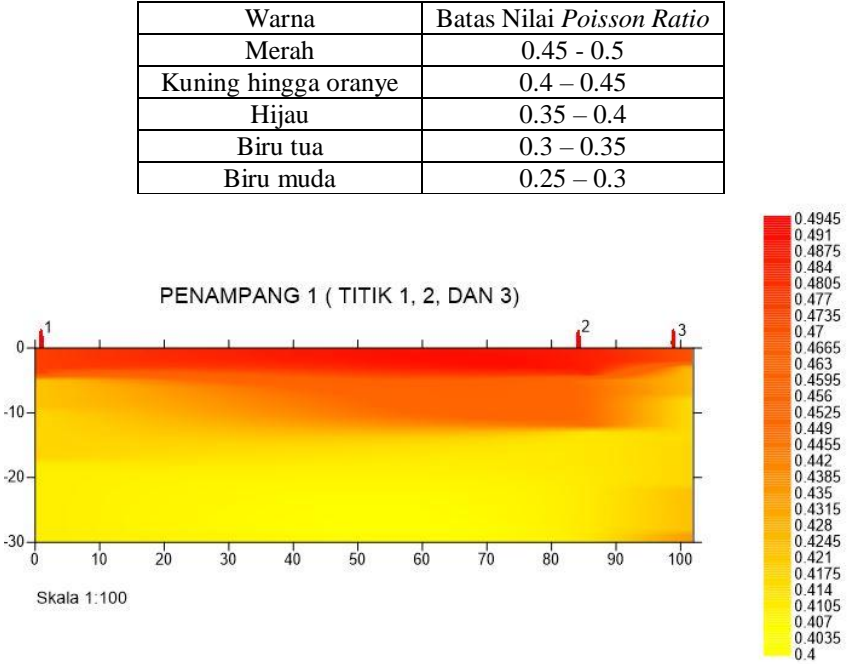


Gambar 4.7 *Poisson ratio* 1-D pada titik 2

Pada tahap ketiga, yaitu pemodelan 2-D *poisson ratio*. Pada tahap ini, dilakukan korelasi antara titik yang satu dengan titik yang lain. Titik yang

dikorelasi merupakan titik dengan formasi batuan yang sama dengan letak yang relatif lurus. Selain itu, diberikan data penampang 2-D tambahan yang melintang dari utara ke selatan yang memotong seluruh formasi pada wilayah Surabaya. Hasil pemodelan 2-D ini dapat dilihat pada gambar 4.8, dimana jarak antar titik memiliki skala 1 :100 (1 m pada model merepresentasikan 100 m pada keadaan nyata), kecuali pada penampang 6 yang menggunakan skala 1 : 200 dan pada penampang 5 yang menggunakan skala 1 : 10. Tabel 4.1 menunjukkan rincian ketetapan warna yang digunakan untuk menentukan nilai *poisson ratio* pada penampang. Pemodelan ini digunakan untuk korelasi data pada formasi tertentu, dan digunakan sebagai data utama dalam menentukan karakterisasi tanah wilayah Surabaya. Selain pemodelan 2-D *poisson ratio*, data Vs, dan data Vp/Vs juga akan digunakan sebagai data tambahan interpretasi hasil penelitian.

Tabel 4.1 Rincian keterangan warna pada nilai penampang *poisson ratio* hasil penelitian.



Gambar 4.8 Model 2-D *poisson ratio* penampang 1

4.5 Interpretasi Pengolahan

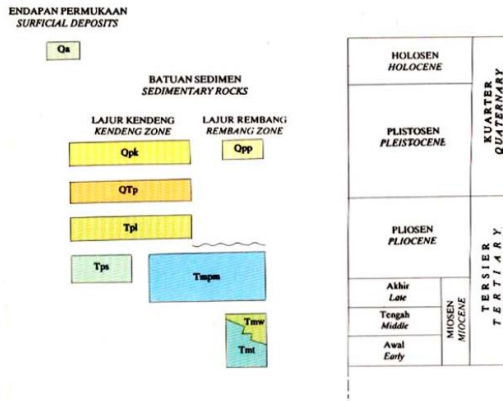
Setelah pengolahan, maka dilakukan interpretasi. Terdapat 4 data yang digunakan untuk interpretasi, yaitu data Vs, model 1-D dan 2-D *poisson ratio*,

model 2-D V_p/V_s , dan data bor penelitian terdahulu. Interpretasi data V_s digunakan untuk menentukan litologi atau jenis batuan, sedangkan V_p/V_s dan *poisson ratio* digunakan untuk meneliti kondisi saturasi pada batuan di titik tersebut. Nilai V_s disesuaikan dengan data geologi formasi pada titik, serta nilai V_{s30} yang telah diteliti sebelumnya oleh Mufida (2013). Interpretasi model *poisson ratio* digunakan untuk menggambarkan korelasi antar titik dan menggambarkan jenis tanah yang terdapat pada penampang. Tabel 4.2 merupakan tabel nilai V_s oleh Bourbie dkk (1987). *Poisson ratio* menurut Bourbie (1985) sangat baik dalam menentukan jenis batuan yang terkonsolidasi ataupun pada batuan yang tidak terkonsolidasi. Umumnya, pada batuan yang tidak terkonsolidasi, nilai *poisson ration*nya yaitu lebih dari 0.35, sedangkan batuan kompak memiliki nilai lebih rendah dari 0.35.

Tabel 4.2 Tabel Nilai V_s dan V_p (Bourbie dkk, 1987)

V_p (m/s)	V_s (m/s)	Jenis Tanah
400 – 1500	100 - 500	Pasir dan kerikil kering
1500 - 2000	400 - 600	Pasir dan Kerikil basah
1100 - 2500	200 - 800	Lempung Jenuh

Seperti dijelaskan oleh Supandjono dkk. (1992), Surabaya mempunyai 4 formasi dengan komposisi batuan yang berbeda. Formasi tersebut adalah formasi Kabuh (Qpk), formasi Pucangan (Qtp), formasi Lidah (Tpl) dan formasi Alluvium (Qa), dengan formasi tertua yaitu formasi Lidah. Hal ini dapat digambarkan sesuai denggan gambar 4.8, yang menjelaskan mengenai kolom stratigafi formasi. Pada 8 penampang *poisson ratio* yang merepresentasikan tiap formasi, terdapat 1 penampang yang merepresentasikan Formasi Kabuh, 2 penampang untuk Formasi Pucangan, 2 penampang untuk Formasi Lidah, dan 3 penampang untuk Formasi Alluvium. Letak dan lokasi lebih lengkap telah dijelaskan pada bab 3. Antiklin yang terdapat di Surabaya, yaitu Antiklin Guyangan dan Antiklin Lidah, tentu mempunyai komposisi batuan yang berbeda, meskipun mempunyai formasi yang sama. Hal itu dapat disebabkan proses pembentukan geologi antiklin tersebut yang kemungkinan berbeda. Menurut data Pusgen, bahwa antiklin-antiklin kemungkinan terbentuk akibat adanya dua sesar lokal aktif pada wilayah Surabaya, yaitu sesar Surabaya (antiklin Lidah), dan sesar Waru (antiklin Guyangan). Hingga penelitian ini dibuat, belum ditemukan penelitian yang menunjukkan antiklin mana yang lebih dulu terbentuk.



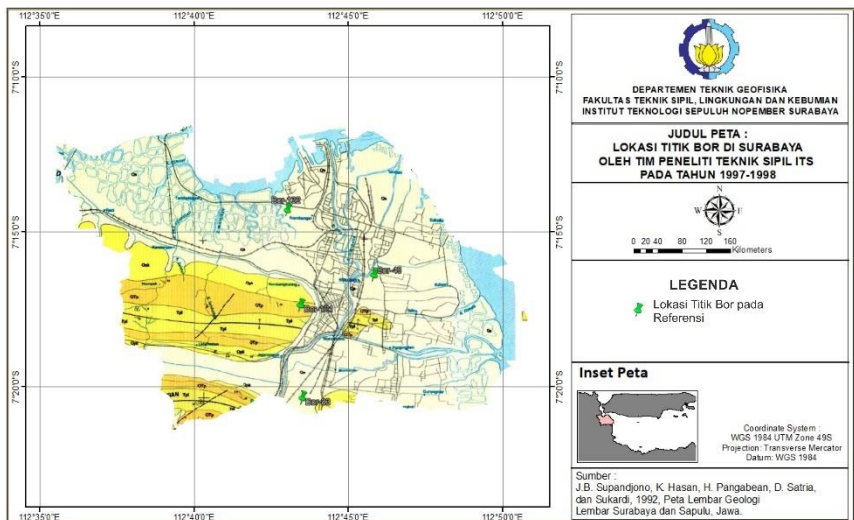
Gambar 4.9 Kolom stratigrafi formasi peta geologi lembar Surabaya-Sappulu. (Supandjono dkk., 1992)

Kondisi geologi dari lapisan dangkal atau hingga kedalaman 30 meter diketahui bahwa dalam kondisi lapuk. Artinya, hingga kedalaman tersebut, diketahui bahwa lapisan tanah yang terbentuk merupakan lapisan tanah sedimen yang tidak terkonsolidasi. Menurut Schon (2011), sedimen yang tidak terkonsolidasi merupakan sedimen yang tidak terpadatkan, dan membentuk butiran akibat adanya proses kimia dan fisika batuan oleh alam. Sedimen ini dibagi menjadi 2, yaitu kohesif (*clay, loam*) dan non kohesif (*sand, gravel*). Perbedaan sifat elastis pada keduanya yaitu pada kontak partikel butirannya. Pada non kohesif, kondisi kontak partikel dipengaruhi oleh efek gesekan atau *friction effects* pada antar partikel, sedangkan pada kohesif dipengaruhi oleh fenomena fisis dan kimia pada partikel tersebut.

Sedimen yang tidak terkonsolidasi mempunyai nilai kecepatan yang lebih rendah disbanding dengan sedimen yang terkonsolidasi. Tentunya, hal ini juga mempengaruhi nilai *poisson ratio* pada lapisan tersebut, terutama pada lempung yang memiliki *poisson ratio* hingga 0.4 lebih. *Poisson ratio* pada batuan dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor. Hal ini salahsatunya diakibatkan oleh faktor pembagiannya, yaitu V_p dan V_s , yang memiliki sifat yang berbeda ketika menemui berbagai persoalan. Salah satu yang sangat mempengaruhi V_p dan V_s yaitu adanya fluida didalam pori batuan, atau kejenuhan batuan terhadap fluida. Data bor dan data geologi tentu sangat diperlukan pada interpretasi ini, untuk mengurangi ambiguitas dan mengetahui litologi lapisan dan faktor yang mempengaruhi nilai *poisson ratio* yang cukup berbeda dengan klasifikasi *poisson ratio* (tabel 2.1).

Berdasar pada penelitian, hingga pada kedalaman 30 meter, tidak ditemukan batuan sedimen keras (*consolidated rocks*) yang terdeteksi. Hal ini dibuktikan pada tidak terdapatnya nilai V_s lebih dari 800 m/s dan V_p lebih dari

2000 m/s. Bahkan, pada formasi Lidah, yang merupakan formasi terdalam yang muncul ke permukaan, tidak ditemukan adanya lapisan keras. Dan pada formasi Kabuh, yang merupakan formasi dengan komposisi batu pasir, juga tidak ditemukan lapisan batuan keras. Bahri dkk. (2016) juga pernah meneliti mengenai kekuatan bangunan dan kedalaman lapisan lunak pada Surabaya menggunakan analisa mikrotremor. Penelitian tersebut juga memberikan hasil bahwa lapisan lunak pada Surabaya terdeteksi cukup tebal. Selanjutnya, akan dijelaskan interpretasi karakterisasi tanah berdasar pada penampang poisson ratio yang telah diolah. Interpretasi dilakukan dengan beberapa data tambahan seperti data bor pada tahun 1997-1998 oleh Teknik Sipil ITS pada beberapa titik yang mendekati titik penelitian ini. Terdapat 4 data bor yang akan digunakan sebagai data tambahan dalam interpretasi poisson ratio. Pada gambar 4.10 merupakan lokasi data bor tersebut.

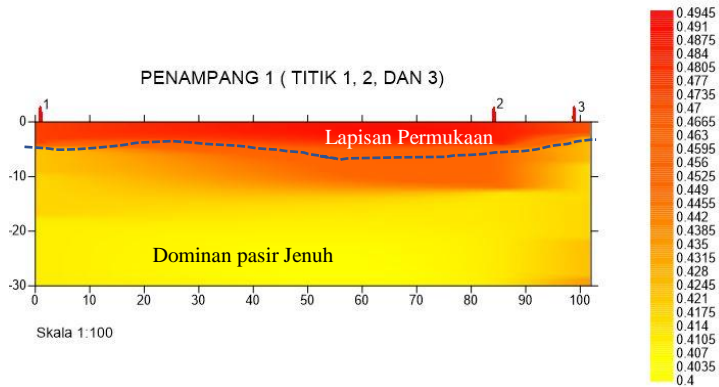


Gambar 4.10 Lokasi data bor penelitian tahun 1997 – 1998 (pin hijau)

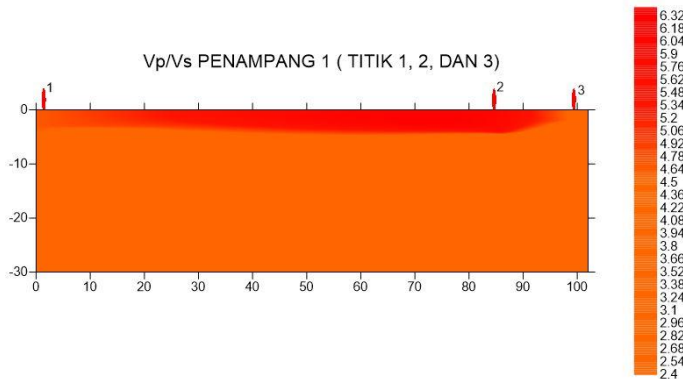
4.5.1 Formasi Kabuh

Pada Formasi Kabuh diketahui memiliki lapisan dengan dominan pasir. Gambar 4.11 a menunjukkan bahwa pada kedalaman 4 meter, lapisan memiliki nilai poisson ratio diatas 0.45. Hal ini dapat diindikasikan merupakan lapisan permukaan, dimana lapisan ini memuat berbagai jenis butiran, mulai dari pasir, lanau, lempung, kerikil, dan berbagai material-material organik, seperti pada penjelasan Bowles (1996) mengenai lapisan permukaan. Jenis tanah pada penampang setelah lapisan permukaan bila diseuaikan dengan tabel 2.1 mempunyai dua kemungkinan, yaitu merupakan lapisan lempung yang tidak

jenuh, atau lapisan pasir jenuh. Tabel korelasi pada penampang ini juga sedikit tidak ada pengaruh, akibat tidak adanya validasi data bor yang mengikat jenis tanahnya. Namun, apabila melihat data peta geologi, dapat dipastikan bahwa hingga kedalaman 30 m merupakan lapisan dengan dominan pasir. Ditambahkan dengan data *poisson ratio* dan V_p/V_s nya, bahwa hingga kedalaman 30 m diketahui bahwa lapisan tersebut merupakan lapisan jenuh.



(a)

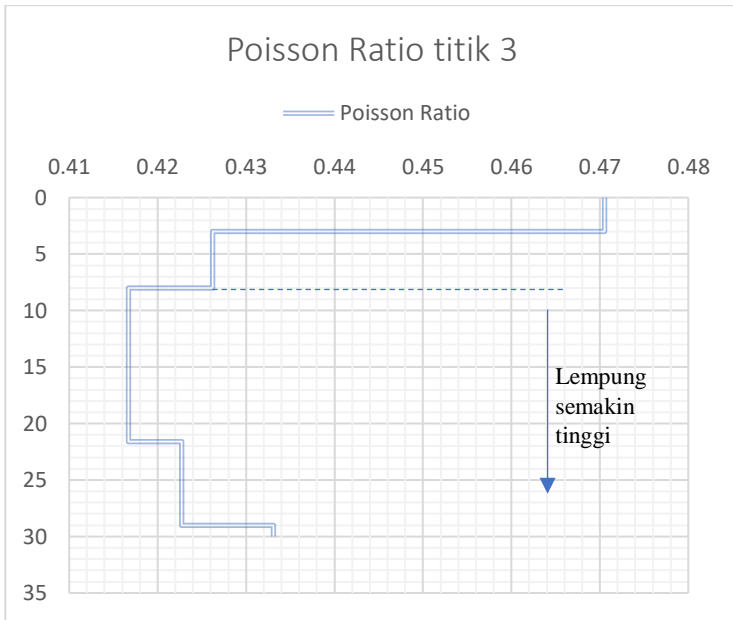


(b)

Gambar 4.11 penampang 1 V_p/V_s (a) dan *poisson ratio* formasi Kabuh

Umumnya, ketika batupasir mengalami pelapukan yang cukup tinggi, maka butiran yang terbentuk pada lapisan merupakan dominan pasir dengan sedikit lempung. Menurut Schon (2011), pasir merupakan lapisan dengan tingkat porositas maupun permeabilitas yang sangat baik, sehingga sangatlah wajar ketika lapisan dengan dominan pasir jenuh mempunyai kedalaman hingga 30 meter. Hal ini juga dibuktikan dengan rasio V_p/V_s penampang 1 (gambar 4.11b)

yang dapat menunjukkan tingkat kejenuhan lapisan terhadap fluida, umumnya air. Bila diambil garis besarnya, maka jenis tanah pada penampang 1 merupakan dominan pasir (pasir lempungan, pasir lanauan, atau pasir) jenuh.

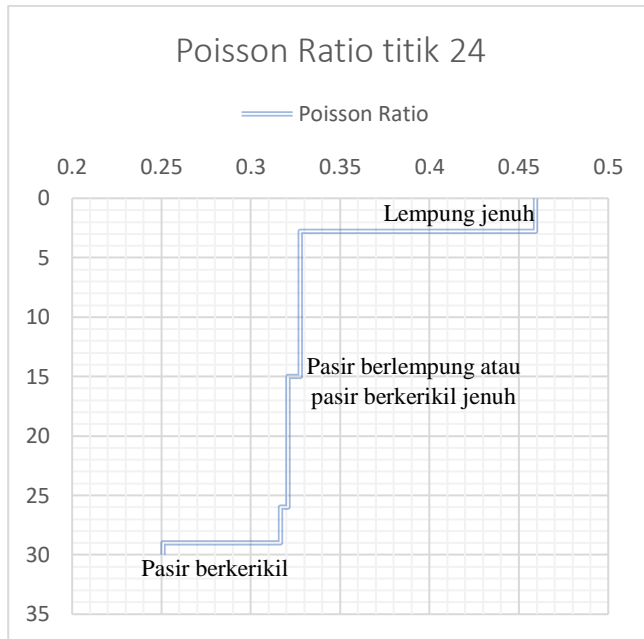


Gambar 4.12 Penampang *poisson ratio* 1-D titik 3

Terdapat satu hal yang menarik pada titik 3. Hal itu merupakan nilai *poisson ratio*-nya yang mengalami peningkatan pada kedalaman mulai dari 18 meter hingga 30 meter, seperti pada gambar 4.12 yang menunjukkan nilai *poisson ratio* 1-D pada titik 3. Hal ini dapat mungkin terjadi apabila kandungan lempung yang semakin tinggi, dimana lempung yang apabila dalam kondisi jenuh dapat meningkatkan nilai *poisson ratio*. Asumsi ini semakin didukung oleh letak titik 3 yang berbatasan dengan Formasi Pucangan, yang memiliki kandungan lempung yang lebih tinggi.

Selain tiga titik tersebut, terdapat satu titik yang terletak pada sisi selatan Surabaya dan terpisah dari antiklin akibat pengikisan oleh endapan alluvium, yaitu titik 24. Titik 24 merupakan titik tambahan yang diukur pada 2 bulan setelah pengukuran, yang terjadi saat musim hujan namun mendekati musim panas. Hasil pengolahan titik 24 dapat dilihat pada gambar 4.13. Dijelaskan bahwa pada titik tersebut hingga kedalaman 2.5 m merupakan lapisan lempung jenuh. Selanjutnya, pada kedalaman 2.5 – 28 meter terdapat dua kemungkinan jenis tanah, yaitu pasir berlempung atau pasir berkerikil dengan

derajat saturasi sedang (seperti pada gambar 2.10, derajat saturasi semakin meningkat semakin meningkatkan nilai *poisson ratio* secara perlahan). Pada kedalaman 28 – 30 m merupakan lapisan berjenis tanah pasir atau pasir berkerikil.

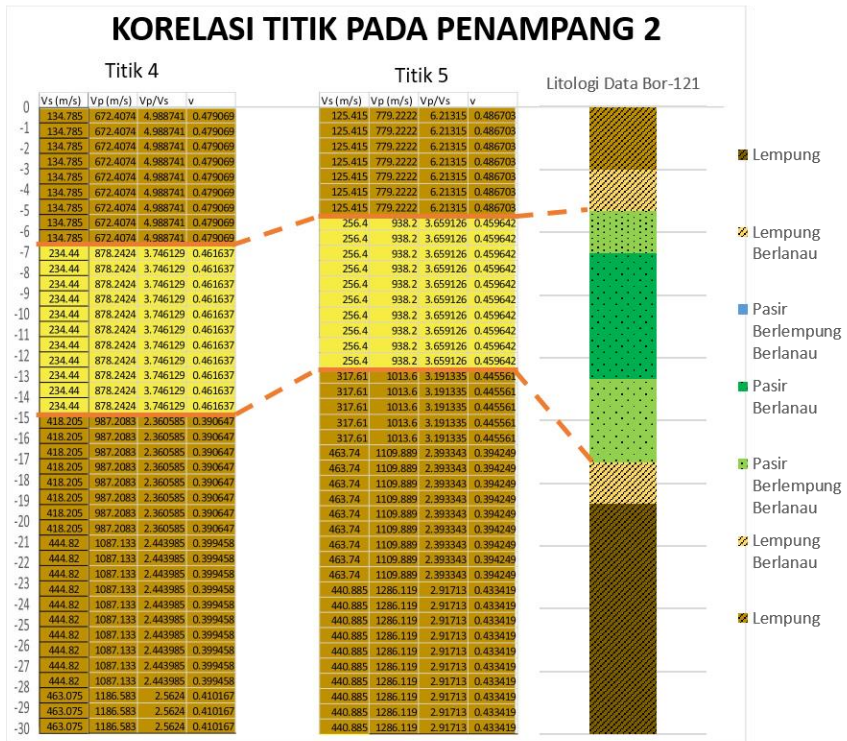


Gambar 4.13 *Poisson ratio* pada titik 24

4.5.2 Formasi Pucangan

Formasi Pucangan pada peta geologi Surabaya mempunyai litologi batu pasir dengan sisipan lempung dan konglomerat serta dengan kandungan tufan yang tinggi. Batu pasir yang kemudian mengalami pelapukan tersebut mengakibatkan perlapisan mengalami perombakan

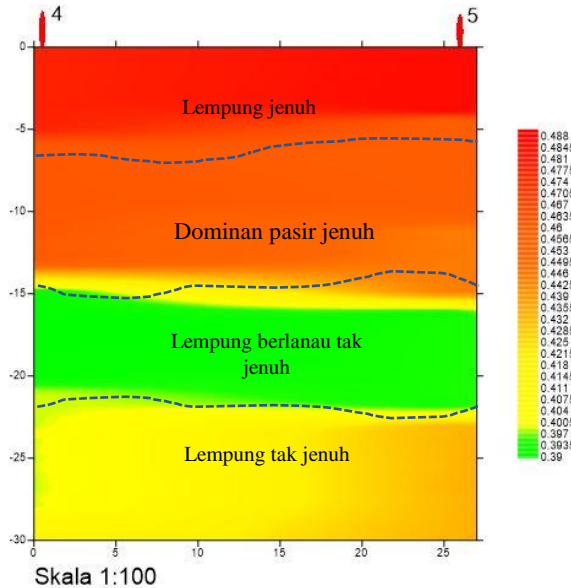
Pada gambar 4.14 menunjukkan korelasi data parameter elastis tiap titik yang dapat menunjukkan litologinya. Formasi ini memiliki litologi penyusun berupa lempung, pasir berlempung, dan lempung/lanau. Selanjutnya, jika memperhatikan *poisson ratio*, maka kejenuhan pada lapisan pun dapat diketahui, seperti pada gambar 4.15.



Gambar 4.14 Tabel korelasi parameter elastis penampang 2 dengan Data Bor-121 (Tim Peneliti Jurusan Teknik Sipil ITS, 1998)

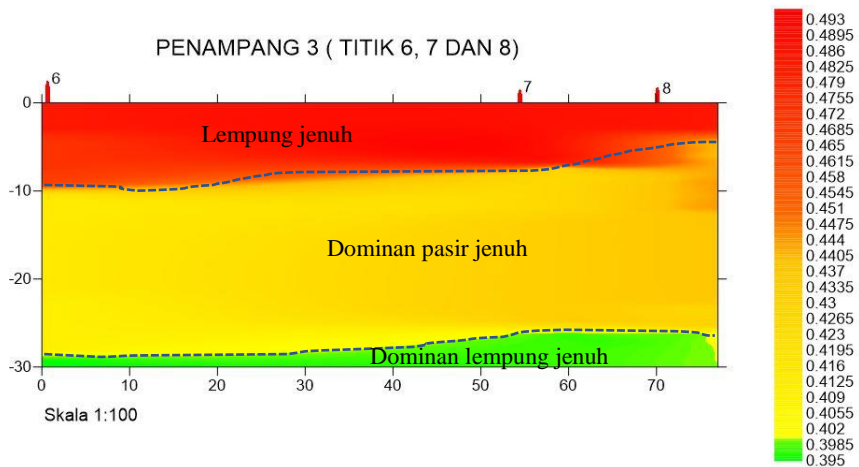
Pada penampang 2 (gambar 4.15), ditampilkan bahwa hingga kedalaman kurang lebih 6 m, nilai *poisson ratio* nya yaitu diatas 0.45. Sesuai dengan tabel 2.1, lapisan ini dapat dikatakan merupakan lapisan lempung jenuh. Sedangkan pada kedalaman 6 m hingga 15 m, terdapat sisipan dominan pasir mengalami kejenuhan dan adanya kandungan lempung berlanau pada kedalaman 15 hingga 22. Dari 22 m hingga 30 m, lapisannya merupakan lempung tak jenuh. Dari interpretasi, dapat diketahui bahwa kejenuhan lapisan dapat terjadi hingga pada kedalaman sekitar 15 m, dan setelahnya lapisan yang dimodelkan merupakan lapisan tak jenuh dengan jenis tanah yang berbeda.

PENAMPANG 2 (TITIK 4, DAN 5)



Gambar 4.15 *Poisson ratio* pada penampang 2

Pada penampang 3 (gambar 4.16) juga merepresentasikan Formasi Pucangan, namun letaknya yang berada pada sisi selatan dari Antiklin Lidah. Tidak ada data bor yang menunjukkan perlapisan pada daerah sekitar penampang. Lapisan dapat dimungkinkan memiliki jenis tanah yang sama, terlebih letaknya yang merupakan satu formasi dengan antiklin pembentuk yang sama. Namun, pada lokasi penampang ini memiliki tingkat kejenuhan dan kemungkinan ketebalan lapisan yang berbeda. Dapat terlihat bahwa hingga kedalaman 30 m, lapisannya merupakan lapisan jenuh. Hal ini dapat mungkin terjadi, selain karena adanya curah hujan yang cukup tinggi dan mungkin berbeda, aliran air yang mungkin memiliki perbedaan waktu juga menjadi salah satu penyebabnya.

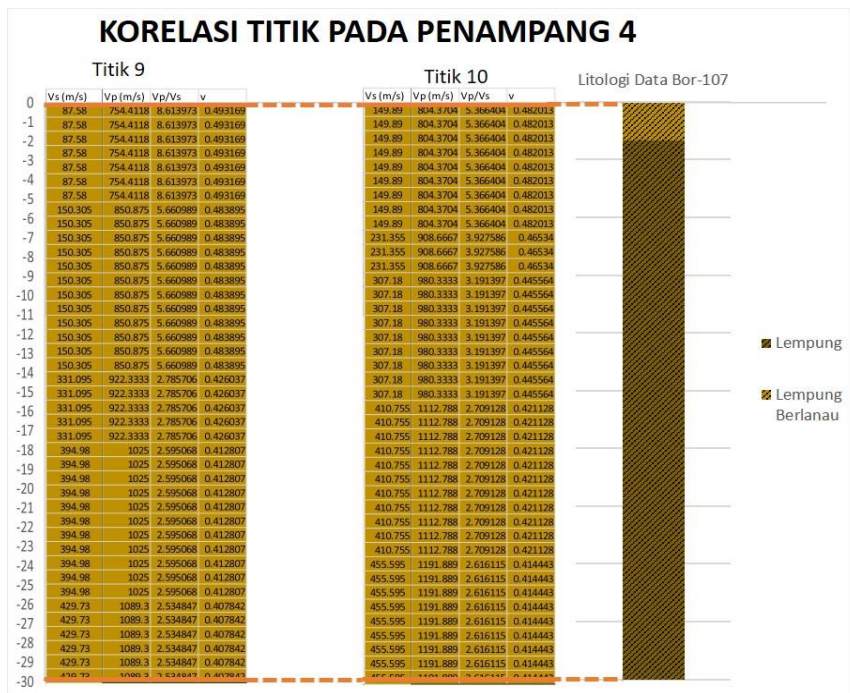


Gambar 4.16 *Poisson ratio* pada penampang 3

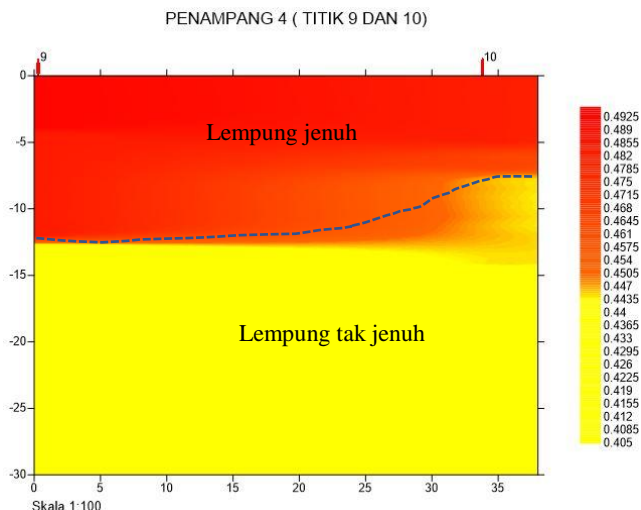
4.5.3 Formasi Lidah

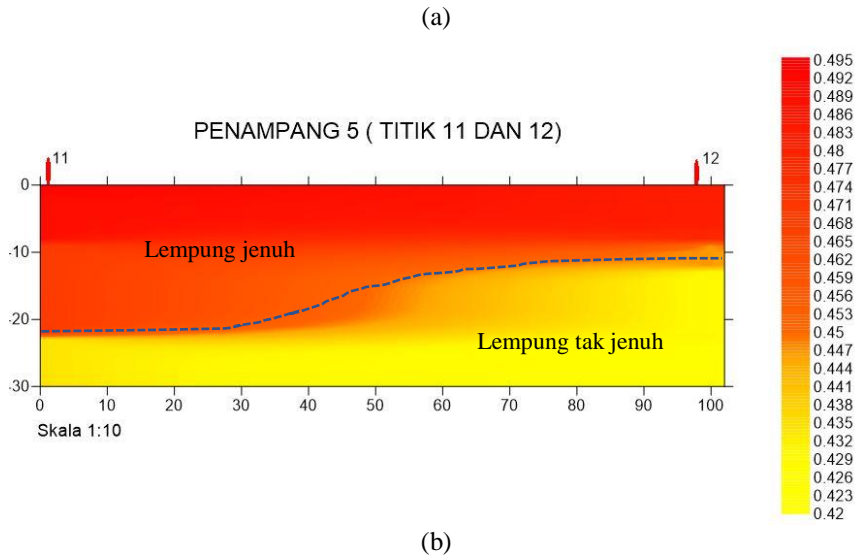
Formasi Lidah memiliki jenis tanah dominan lempung. Hal ini sesuai dengan hasil tabel korelasi (gambar 4.17) yang menunjukkan bahwa hingga kedalaman 30 m, lapisan yang membentuk penampang adalah lapisan dominan lempung. Pada data bor, jenis tanah lapisan di kedalaman hingga 30 meter yaitu lempung berlanau (hingga 2.5 meter) dan sisanya lempung.

Nilai *poisson ratio* yang terhitung pada penampang 4 dan penampang 5 (4.18 a dan b) yaitu diatas 0.4. Jika disesuaikan dengan tabel 2.1, data geologi, data tabel korelasi dan data bor-121, maka juga dapat dipastikan lapisan yang terhitung merupakan lapisan lempung. Pada penampang 4, hingga kedalaman 12 m merupakan lapisan lempung jenuh, sedangkan mulai dari 12 m hingga 30 m merupakan lapisan lempung tak jenuh. Tidak jauh berbeda dengan penampang 4, hingga kedalaman 20 m (pada titik 11) dan 13 m (pada titik 12), lapisan yang terbaca yaitu lapisan lempung jenuh, sedangkan setelahnya hingga kedalaman 30 m merupakan lapisan lempung tak jenuh.



Gambar 4.17 Tabel korelasi parameter elastis penampang 4 dengan Data Bor-107 (Tim Peneliti Jurusan Teknik Sipil ITS, 1998)



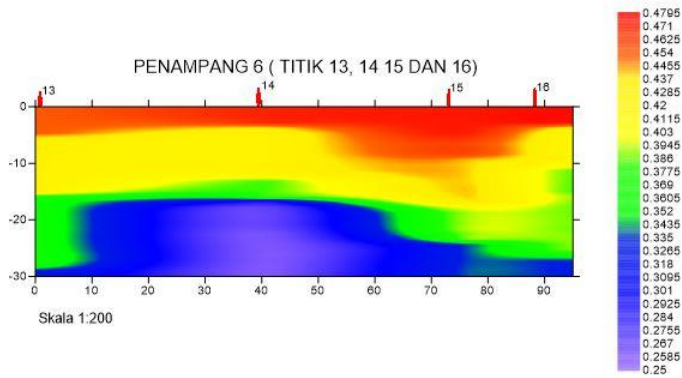


(b)

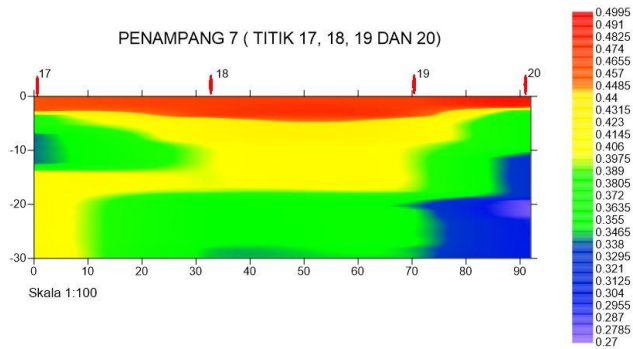
Gambar 4.18 Penampang *poisson ratio* pada penampang 4 (a) dan 5 (b)

4.5.4 Formasi Alluvium

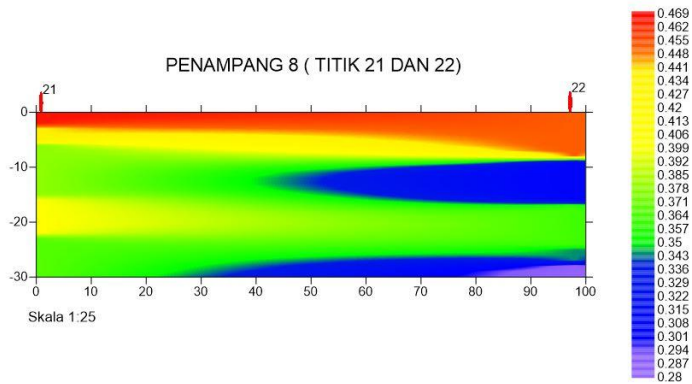
Pada Formasi Alluvium, merupakan formasi yang terbentuk oleh endapan-endapan yang berasal dari transport perairan yang berada di Surabaya, seperti sungai, delta, dan laut. Umumnya, semakin menuju hilir, maka material endapan akan semakin halus. Namun, pada penelitian data bor pada tahun 1998 menunjukkan bahwa perlapisan tanah pada daerah dengan formasi ini sangatlah tidak menentu, berbeda dengan pada Formasi Kabuh, Pucangan, dan Lidah. Hal ini mungkin tidak terlepas dari adanya berbagai material-material, baik material dari formasi lain, maupun dari material hulu sungai, yang terendapkan, sehingga menyebabkan adanya erbagai perlapisan. Namun, pada endapan alluvium, material penyusunnya yaitu *unconsolidated sediments*, dengan berbagai ukuran butiran, mulai dari lempung hingga ukuran kerakal. Adanya berbagai jenis butiran tersebut menyebabkan porositas yang dipunyai oleh lapisan ini tidak menentu, dan juga kontak antar partikel yang cenderung tidak terikat dengan baik, sehingga menyebabkan adanya penurunan nilai V_p dan V_s . Penurunan ini juga menyebabkan nilai *poisson ratio* yang mengalami penurunan. Adanya perbedaan perlapisan pada setiap titik juga menyebabkan nilai *poisson ratio* yang terbaca menjadi acak (gambar 4.19).



(a)



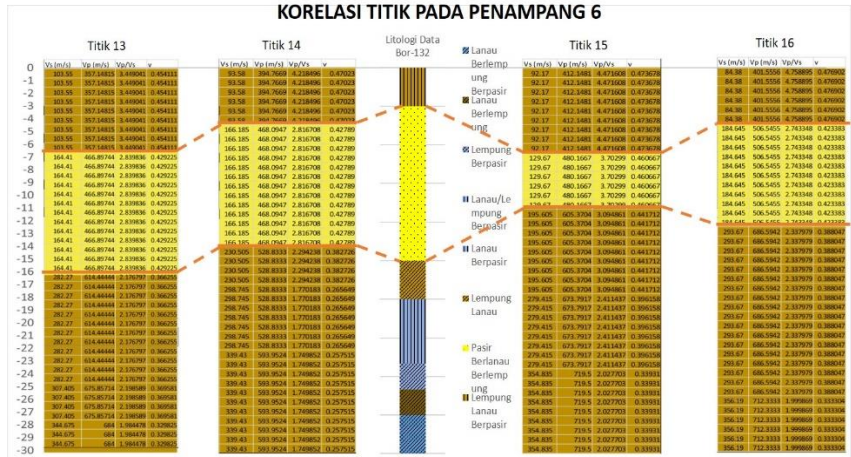
(b)



(c)

Gambar 4.19 Model penampang *poisson ratio* pada penampang 6 (a), penampang 7 (b), penampang 8 (c)

Namun, pada tabel korelasi yang telah dibuat, lapisan tanah dapat ditentukan. Nilai poisson ratio yang acak tersebut menunjukkan kejenuhan lapisan tanah yang berbeda-beda pada tiap titik. Gambar 4.20a dan 4.20b menunjukkan antara data bor yang letak titiknya berdekatan dengan salahsatu titik pengukuran memiliki jenis perlapisan yang sama.



(a)



(b)

Gambar 4.20 Tabel korelasi penampang 6 dan 7 dengan data bor yang berdekatan

Pada penampang 6, yang terletak pada pesisir utara Surabaya, memiliki jenis tanah mulai dari permukaan hingga 30 m yaitu dominan lempung, dominan pasir, dan dominan lempung. Meski hasil *poisson ratio* pada penampang ini tidak relevan, namun dapat terlihat adanya perlapisan tingkat kejenuhan yang berbeda. Hingga kedalaman sekitar 15 m, atau hingga pada lapisan dominan pasir, dapat diindikasikan masih merupakan lapisan jenuh, sedangkan selanjutnya sudah merupakan lapisan tak jenuh.

Pada penampang 7, lapisan tanah yang tersusun merupakan lapisan dominan lempung dan dominan pasir. Pada model *poisson ratio*-nya, dapat terlihat mempunyai kejenuhan yang sungguh acak. Selain karena cirah hujan, pengaruh kekuatan tanah pada tiap titik mungkin saja berbeda, sehingga ketika kandungan air masuk pada lapisan tersebut, waktu dari air mengalir pada tiap titik hingga pada kedalaman tertentu pun akan berbeda.

4.5.5 Analisa Poisson Ratio

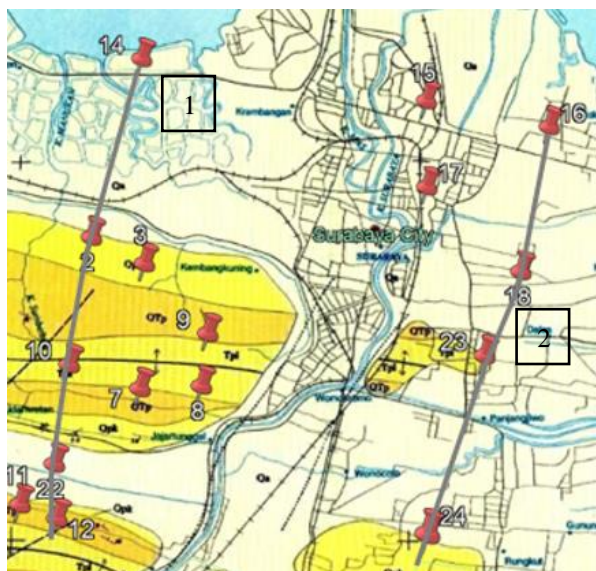
Umumnya, nilai *poisson ratio* yang terbaca sangat dipengaruhi oleh sifat dari nilai V_p dan V_s terhadap suatu kondisi. Nilai V_p dan V_s menurut Schon (2011) banyak dipengaruhi oleh beberapa hal, contohnya yaitu oleh porositas, kandungan fluida dalam pori, tekanan, lingkungan pengendapan, genesa batuna, dan masih banyak lagi. Campbell dkk (2016) pernah meneliti mengenai pengaruh pelapukan terhadap V_s secara *insitu*. Kesimpulan yang didapat pada penelitian tersebut yaitu bahwa nilai V_s menurun sebesar 52 % ketika derajat pelapukan sudah mencapai 100 % pada suatu batuan, terutama pada batuan sedimen. Hal itu disebabkan batuan tersebut yang sudah tidak saling mengikat, atau disebut *unconsolidated rocks*. Selain derajat pelapukan, kandungan lempung dan derajat saturasi juga merupakan faktor yang cukup besar dalam mengubah nilai *poisson ratio*.

Nilai *poisson ratio* apabila diinterpretasikan sendiri tanpa menginterpretasi parameter elastis lainnya tidak cukup apabila untuk karakterisasi tanah, sehingga data V_p , V_s , dan parameter-parameter lainnya sangat dibutuhkan. Adanya tabel korelasi pada tiap titik digunakan untuk menentukan litologi tanah pada tiap penampang, yang selanjutnya diinterpretasikan lebih lanjut menggunakan penampang *poisson ratio* untuk menentukan tingkat kejenuhan. Nilai *poisson ratio* pun sebenarnya dapat digunakan untuk karakterisasi tanah, namun tetap harus memperhatikan nilai V_s dan V_p dalam interpretasinya, sehingga lebih tepat apabila kalau litologi diinterpretasikan menggunakan data V_p atau V_s . Seperti pada bab 4.5, pada Formasi Kabuh, Pucangan dan Lidah, sebenarnya *poisson ratio* masih dapat digunakan untuk menentukan litologi. Namun, pada Formasi Alluvium, terlihat adanya ketidakteraturan pemodelan.

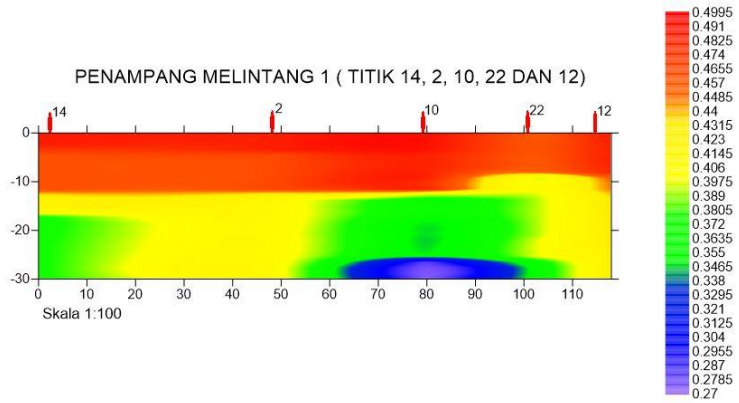
Selain itu, terlihat pada karakteristik lapisan Formasi Alluvium berbeda dengan Formasi Kabuh, Lidah dan Pucangan. Formasi Alluvium mempunyai jenis tanah yang berbeda pada tiap titik. Hal ini mungkin dapat terjadi akibat dari

adanya transportasi melalui media air, dimana batuan yang tertransportasi umumnya berbeda-beda, sehingga memengaruhi butiran yang terbentuk pada lapisan tanah alluvium. Sedangkan pada Formasi Kabuh, Lidah, dan Pucangan, terbentuk akibat adanya erosi atau pelapukan oleh angin, sehingga material-material yang terbentuk berasal dari batuan yang terdapat dalam formasi tersebut, dan membuat terdapat keseragaman jenis tanah pada formasi tersebut. Gambar 4.21 menunjukkan persebaran nilai *Poisson ratio* yang ditunjukkan dengan penampang yang memotong seluruh formasi di Surabaya. Terlihat bahwa pada endapan alluvium memiliki persebaran jenis tanah yang tidak merata, sehingga nilai *Poisson ratio* yang terbaca dapat terlihat mirip dengan titik pada Formasi Kabuh, Pucangan, atau Lidah, seperti pada titik 20 (endapan alluvium) dan titik 24 (Formasi Kabuh). *Poisson ratio* pada aplikasinya tidak terlalu dapat diaplikasikan untuk menentukan letak struktur pada suatu wilayah, sehingga hasil pemodelan yang memotong struktur tidak dapat terlihat dengan baik.

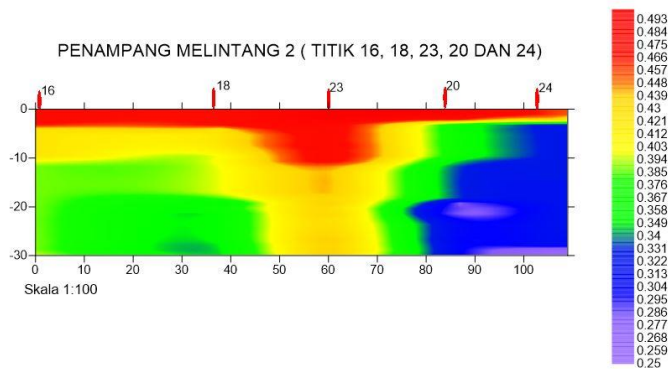
Jika dikaitkan dengan analisa geoteknik, terutama dalam menentukan kedalaman pondasi yang baik terlebih pada daerah Surabaya yang memiliki potensi kegempaan oleh sesar aktifnya, maka tentunya penelitian ini dapat dijadikan sebagai penelitian awal dalam penentuan pondasi, meskipun belum mampu memberikan hasil data yang cukup pasti. Menurut Bowles (1996), bahwa pasir merupakan jenis tanah yang cukup baik dibandingkan lempung sebagai peletakan pondasi bangunan, namun lebih baik lagi yaitu pada lapisan keras atau jenis tanah yang telah terkonsolidasi. Seperti pada titik 17, berdasar penelitian ini, maka pondasi dangkal dapat diletakkan hingga pada kedalaman sekitar 10 m.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.21 Lokasi penampang melintang (a) Penampang melintang *Poisson Ratio* 1 (memotong Antiklin Lidah dan Guyangan) (b) dan 2 (memotong sisi timur Surabaya) (c)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasar hasil penelitian, maka dapat disimpulkan bahwa :

1. Berdasar analisa Vs, Vp dan *poisson ratio*, hingga pada kedalaman 30 meter, lapisan yang terbentuk merupakan lapisan batuan sedimen yang tidak terkonsolidasi atau *unconsolidated sediments*.
2. Pada Formasi Kabuh, Lidah, dan Pucangan memiliki keseragaman jenis tanah yang membentuk pada tiap titik, sedangkan pada formasi alluvium memiliki perbedaan jenis tanah pada tiap kedalaman di titik penelitian.
3. Jenis tanah yang terdapat pada Formasi Kabuh hingga kedalaman 30 m merupakan lapisan permukaan (nilai *poisson ratio* 0.45-0.47), dan lapisan pasir/pasir berlempung jenuh (*poisson ratio* sebesar 0.405 – 0.45)
4. Jenis tanah yang terdapat pada formasi Pucangan hingga kedalaman 30 m merupakan lapisan lempung jenuh (nilai *poisson ratio* 0.45-0.488), lapisan dominan pasir jenuh (*poisson ratio* 0.39 – 0.3985) dan lapisan dominan lempung tak jenuh (*poisson ratio* sebesar 0.405 – 0.429)
5. Jenis tanah yang terdapat pada formasi Lidah hingga kedalaman 30 m merupakan lapisan lempung jenuh (nilai *poisson ratio* 0.45-0.489), dan tak jenuh (*poisson ratio* 0.407 – 0.45)
6. Jenis tanah yang terdapat pada Formasi Alluvium hingga kedalaman 30 m merupakan lapisan lempung, pasir berlempung/berlanau, lempung/lanau berpasir, dan pasir/pasir berkerikil yang tersebar beragam pada tiap titik di kedalaman tertentu.

5.2 Saran

Saran yang diberikan peneliti untuk kedepannya yaitu :

1. Dalam penelitian *poisson ratio* untuk interpretasi kedalaman dangkal, dianjurkan untuk tidak mengambil data pengukuran dalam kondisi hujan, karena dapat sangat mempengaruhi ambiguitas data.
2. Saat menentukan desain akuisisi, maka panjang bentangan harus diperhatikan, terutama dalam pengukuran metode seismik refraksi.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Bahri, A.S., Utama, W., Aini, D.N. dan Lutfie, M.N. (2016), "Valuation of Building Strength Against Earthquake Vibrations using Microtremor Analysis (case study: The city of Surabaya)", *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol.29, No.1.
- Bahri, S. dan Madlazim (2012), "Pemetaan Topografi, Geofisika Dan Geologi Kota Surabaya", *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*, Vol.2, No.2, hal. 23–28.
- Bourbie, T., Coussy, O. dan Zinszner, B. (1987), *Acoustics of Porous Media*, Gulf Publishing Company, Houston.
- Bowles, J.E. (1997), *Foundation Analysis and Design*, 5th Ed., The McGraw-Hill Companies, Inc., Singapore.
- Davidovici, V. (1985), *Genie Parasismique*, Ecole Nationale des Points et Chaussies, Paris.
- Essien, U.E., Akankpo, A.O. dan Igboekwe, M.U. (2014), "Poisson's Ratio of Surface Soils and Shallow Sediments Determined from Seismic Compressional and Shear Wave Velocities", *International Journal of Geosciences*, Vol.05, No.12, hal. 1540–1546.
- Everett, M.E. (2013), *Near-Surface Applied Geophysics*, 1st Ed., Cambridge University Press, New York.
- Gercek, H. (2007), "Poisson's ratio values for rocks", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Vol.44, No.1, hal. 1–13.
- Kearey, P., Brooks, M. dan Hill, I. (2002), *An Introduction to Geophysical Exploration*, 3rd Ed., Blackwell Science Ltd., London.
- Ma'ruf, M.F., Widodo, A. dan Suwarno (2011), "Site Response Evaluation for Earthquake Hazard Analysis of Surabaya Metropolitan", *The Second International Conference on Earthquake Engineering and Disaster Mitigation (ICEEDM-2)*, Surabaya, Indonesia, No.July, hal. 19–20.
- Mendoza, C.E., Colmenares, J.E. dan Merchan, V.E. (2005), "Stiffness of Unsaturated Compacted Clayey Soils at Very Small Strains", *Proceeding International Symposium on Advanced Experimental Unsaturated Soil Mechani, Trento, Italy*, hal. 199–204.
- Mufida, A., Santosa, B.J. dan Warnana, D.D. (2013), "Profiling Kecepatan Gelombang Geser (Vs) Surabaya Berdasarkan Pengolahan Data Mikrotremor", *Jurnal Sains dan Seni Pomits*, Vol.2, No.2.
- Muna, H. (2017), *Penentuan Litologi Bawah Permukaan Berdasarkan Nilai*

Poisson Ratio Area Gempa Bumi Menggunakan Metode Seismik Refraksi dan MASW di Kecamatan Panteraja, Pidie Jaya, Univeritas Syiah Kuala, Banda Aceh.

- Novotny, O. (1999), *Seismic surface waves*, Centro De Pesquisa Em Geofisica E Geologia Universidade Federal Da Bahia, Bahia.
- Nurdiyanto, B., Hartanto, E., Ngadmanto, D., Sunardi, B. dan Susilanto, P. (2011), "Penentuan Tingkat Kekerasan Batuan Menggunakan Metode Seismik Refraksi", *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, Vol.12, No.3.
- Oh, W.T. dan Vanapalli, S.K. (2011), "Relationship between Poisson's ratio and Soil Suction for Unsaturated Soils", *Unsaturated Soils: Theory and Practice*,.
- Ólafsdóttir, E.Á. (2014), *Multichannel Analysis of Surface Waves Methods for Dispersion Analysis of Surface Wave Data*, School of Engineering and Natural Sciences Faculty of Civil and Environmental Engineering University of Iceland, Reykjavík.
- Park, C.B. dan Carnevale, M. (2010), "Optimum MASW Survey", *GeoFlorida 2010: Advances in Analysis, Modeling and Design*,.
- Park, C.B., Miller, R.D. dan Miura, H. (2002), *Optimum Field Parameters of an MASW Survey*, Kansas.
- Park, C.B., Miller, R.D. dan Xia, J. (1998), "Imaging Dispersion Curves of Surface Waves on Multi-channel Record", *SEG Expanded Abstracts*,.
- Park, C.B., Miller, R.D., Xia, J. dan Ivanov, J. (2007), "Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW)— Active and Passive Methods", *The Leading Edge*,.
- Reynolds, J.M. (2011), *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*, John Wiley and Sons Ltd., Chichester.
- Riyantiyo, N.D. (2017), *Identifikasi Patahan Lokal Menggunakan Analisa Mikrotremor (Studi Kasus patahan Lokal Sungai Surabaya)*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Schön, J.H. (2011), *Physical Properties of Rocks: A Workbook*, Cubitt, J. ed., Elsevier, Oxford.
- Sharma, H.D., Dukes, M.T. dan Olsen, D.M. (1990), "Geotechnics of waste fills, theory and practice", *Geotechnics of waste fills, theory and practice*,.
- Shearer, P.M. (2009), *Introduction to Seismology*, 2nd Ed., Cambridge University Press, Cambridge.

- Sheriff, R.E. dan Geldart, L.P. (1995), *Exploration Seismology*, 2nd Ed., Cambridge University Press, New York.
- Supandjono, J.B., Hasan, K., Panggabean, H., Satria, D. dan Sukardi (1992), *Peta Geologi Lembar Surabaya-Sappulu*.
- Tim Peneliti Jurusan Teknik Sipil ITS (1998), *Draft Laporan Akhir Tahun Anggaran 1997 – 1998 : Pekerjaan Kajian Untuk Bahan Informasi Kepada Masyarakat Tentang Daya Dukung Tanah Untuk Standart Perencanaan Pondasi Bagi Bangunan yang Akan Didirikan (Penyelidikan Tanah Boring dan Sondir di Kotamadya Sura, Surabaya*.
- Tim Pusat Studi Gempa Nasional (2017), *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*, Bandung.
- Zhang, J.J. dan Bentley, L.R. (2005), "Factors Determining Poisson's ratio", *CREWES Research Report*, Vol.17, hal. 1–15.

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Parameter Elastik pada Penelitian

Tabel 1. Nilai Vs 1-D seluruh titik

Titik	Shot 1		Shot 5	
	Kedalaman (m)	Vs (m/s)	Kedalaman (m)	Vs (m/s)
1	3.5	181.96	3.5	160.07
	9.25	284.26	9.25	362.31
	17.6	381.81	17.6	374.23
	30.56	469.55	30.56	465.46
	38.07	521.57	38.07	497.64
	∞	557.08	∞	548
2	3.49	131.02	3.49	123.56
	11.96	226.6	11.96	286.31
	18.97	510.89	18.97	434.7
	32.47	536.87	32.47	496.7
	38.68	537.03	38.68	560.98
	∞	600	∞	623.98
3	2.72	153.31	2.72	129.43
	7.35	279.72	7.35	256.27
	20.23	342.49	20.23	398.47
	28.44	451.47	28.44	464.26
	35.26	495.32	35.26	474.6
	∞	518.11	∞	506.21
4	4.88	128.7	4.88	140.87
	12.36	275.31	12.36	193.57
	20.14	394.96	20.14	441.45
	28.29	423.11	28.29	466.53
	35.32	449.06	35.32	477.09
	∞	461.41	∞	485.62
5	3.89	122.47	3.89	128.36

	10.52	250.73	10.52	262.07
	14.72	292.35	14.72	342.87
	21.98	370.78	21.98	463.74
	40.98	398.25	40.98	483.52
	oo	421.26	oo	530.15
6	3.35	95.09	7.35	168.54
	7.35	281.89	9.38	278.29
	9.38	282.04	21.8	525.8
	21.8	498.16	30.88	560.89
	30.88	503.65	38.41	612.13
	38.41	605.43	oo	623.68
	oo	612.9		
7	7.19	107.85	7.19	101.2
	12.44	326.03	12.44	284.31
	24.16	436.23	24.16	377.68
	35.48	568.55	35.48	552.37
	46.94	676.59	46.94	673.65
	oo	758.2	oo	731.64
8	3	109.92	12	162.27
	12	408.59	22.45	323.29
	22.45	445.25	25.45	427.7
	25.45	447.59	34.51	568.89
	34.51	479.81	42.21	711.77
	42.21	480.68	53.7	737.04
	53.7	800.37		
9	6.77	163.74	5	136.04
	14.35	259.49	6.77	298.97
	22.86	373.16	14.35	354.87
	33.02	430.41	22.86	448.35
	38.11	493.5	33.02	480.78
	oo	526.39	38.11	512.41

			oo	570.84
10	3.72	86.63	3.72	88.53
	12.34	146.23	12.34	154.38
	17.03	340.46	17.03	321.73
	26.15	398.56	26.15	391.4
	35.17	412.91	35.17	446.55
	oo	510.33	oo	480.47
11	1.5	132.88	1.5	69.93
	7.94	148.52	7.94	149.82
	21.94	213.32	21.94	365.3
	38.34	465.12	38.34	438.52
	60.25	532.02	60.25	526.88
	oo	594.31	oo	565.56
12	5.98	160.54	5.98	158.67
	8.48	226.31	8.48	237.14
	12.01	318.38	12.01	430.14
	29.78	382.97	29.78	494.09
	44.26	406.6	44.26	579.49
	oo	429	oo	585.2
13	4.71	99.14	4.71	107.96
	14.71	162.23	14.71	166.59
	25.19	295.69	25.19	268.85
	29.43	330.59	29.43	284.22
	40.85	343.54	40.85	345.81
	oo	355.96	oo	534.76
14	3.37	91.15	3.37	96.01
	11.91	176.8	11.91	155.57
	16.52	191.14	16.52	269.87
	21.76	292.5	21.76	304.99
	38.58	324.49	38.58	354.37
	oo	499.9	oo	388.38

15	5.17	91.48	5.17	92.86
	9.03	124.11	9.03	135.23
	17	185.43	17	205.78
	20.88	224.07	20.88	241.45
	23.4	335.4	23.4	316.74
	36.87	351.22	36.87	358.45
	oo	472.39	oo	399.27
16	2.81	87.35	2.81	81.41
	9.57	202.61	9.57	166.68
	29.49	289.79	29.49	297.55
	32.16	312.1	32.16	306.47
	37.05	356.19	37.05	332.8
	oo	404.58	oo	362.05
17	2.51	84.41	2.51	97.04
	6	185.3	6	138.51
	12.52	220.29	12.52	210.86
	27.18	249.48	27.18	283.46
	29.83	321.47	29.83	315.95
	oo	330.73	oo	316.73
18	3.96	94.6	3.96	86.13
	7.9	153.7	7.9	151.24
	17.52	175.65	17.52	228.56
	27.38	301.08	27.38	279.04
	35.09	338.91	35.09	317.33
	47.36	373.26	47.36	332.89
	oo	376.21	oo	367.06
19	8.55	126.28	8.55	100.32
	11.25	232.26	11.25	140.63
	23.76	280.01	23.76	299.56
	29.25	328.99	29.25	351.55
	37.34	340.77	37.34	352.78

	oo	456.62	oo	403.33
20	2.17	57.79	2.17	53.25
	10.53	149.78	10.53	201.02
	19.09	236.1	19.09	235.46
	22.38	335.61	22.38	280.18
	34.12	347.49	34.12	335.27
	oo	423.29	oo	347.06
21	2.47	111.48	2.47	77.8
	5.01	150.36	5.01	127.76
	14.98	214.69	14.98	266.67
	22.13	244.65	22.13	273.03
	34.73	316.67	34.73	302.64
	oo	438.36	oo	528.03
22	8.92	113.35	8.92	113.2
	17.69	231.7	17.69	253.09
	25.54	251.14	25.54	258.57
	28.58	271.57	28.58	289.53
	33.26	339.41	33.26	298.07
	oo	340.3	oo	304.97
23	2.79	85.84	2.79	83.13
	11.25	334.47	11.25	168.21
	17.48	399.97	17.48	529.69
	24.58	434.01	24.58	562.51
	33.89	461.84	33.89	569.64
	39.91	476.5	39.91	576.34
	oo	492.99	oo	666.67
24	1.83	119.71	1.83	128.08
	14.41	310.97	14.41	280.05
	24.16	344.5	24.16	491.32
	28.19	391.41	28.19	511.61
	32.3	459.57	32.3	561.16

	39.27	516.39	39.27	599.62
	oo	553.95	oo	643.36

Tabel 2. Nilai Vp 1-D seluruh titik

Titik	Kedalaman (m)	Vp (m/s)	Titik	Kedalaman (m)	Vp (m/s)
1	0	779.3333333	2	0	746.6666667
	-1.36	793		-1.36	750.3333333
	-2.78	817.3333333		-2.78	775.6666667
	-4.28	849.3333333		-4.28	835.6666667
	-5.85	878		-5.85	920.6666667
	-7.5	900		-7.5	1004.333333
	-9.24	923		-9.24	1075.666667
	-11.06	955		-11.06	1134
	-12.97	999.3333333		-12.97	1182.666667
	-14.97	1048.333333		-14.97	1221
	-17.08	1097.666667		-17.08	1252.333333
	-19.29	1140.666667		-19.29	1278.666667
	-21.62	1177		-21.62	1302.333333
	-24.05	1211		-24.05	1327
	-26.62	1239		-26.62	1351.666667
	-29.3	1267.666667		-29.3	1375.666667
3	0	574	4	0	582.3333333
	-1.36	598.6666667		-1.36	626
	-2.78	651		-2.78	697.6666667
	-4.28	723.3333333		-4.28	771
	-5.85	794		-5.85	829
	-7.5	848.3333333		-7.5	868.3333333
	-9.24	887		-9.24	895.6666667
	-11.06	919		-11.06	918

	-12.97	956.3333333		-12.97	941.3333333
	-14.97	1005		-14.97	965.3333333
	-17.08	1066.333333		-17.08	993
	-19.29	1137.666667		-19.29	1023.333333
	-21.62	1212.333333		-21.62	1057.333333
	-24.05	1284.666667		-24.05	1093.333333
	-26.62	1347		-26.62	1132
	-29.3	1396.666667		-29.3	1172
5	0	739.6666667	6	0	704.4444444
	-1.36	772		-1.36	755.5555556
	-2.78	826		-2.78	835.5555556
	-4.28	882.6666667		-4.28	1078.333333
	-5.85	927.3333333		-5.85	1096.333333
	-7.5	958.6666667		-7.5	1086.333333
	-9.24	979.3333333		-9.24	1073.333333
	-11.06	996.3333333		-11.06	1079.666667
	-12.97	1016.666667		-12.97	1108.666667
	-14.97	1042		-14.97	1143.666667
	-17.08	1080		-17.08	1173.333333
	-19.29	1123		-19.29	1190.333333
	-21.62	1169		-21.62	1205.666667
	-24.05	1217.333333		-24.05	1226
	-26.62	1262.666667		-26.62	1252.333333
	-29.3	1305.333333		-29.3	1282.333333
7	0	600.6666667	8	0	805.3333333
	-1.36	612.6666667		-1.36	807.3333333
	-2.78	641.3333333		-2.78	817.3333333
	-4.28	685.6666667		-4.28	836
	-5.85	738.6666667		-5.85	860.3333333
	-7.5	794		-7.5	890.6666667
	-9.24	855.3333333		-9.24	932.3333333

	-11.06	924		-11.06	984.3333333
	-12.97	1003		-12.97	1043.333333
	-14.97	1083.666667		-14.97	1102.666667
	-17.08	1158.333333		-17.08	1149.666667
	-19.29	1219.666667		-19.29	1187.333333
	-21.62	1268.333333		-21.62	1216.333333
	-24.05	1304.333333		-24.05	1240.666667
	-26.62	1336.333333		-26.62	1266
	-29.3	1364.666667		-29.3	1291
9	0	759.3333333	10	0	748.3333333
	-1.36	776		-1.36	740.6666667
	-2.78	813.3333333		-2.78	736
	-4.28	864.3333333		-4.28	739.6666667
	-5.85	908.6666667		-5.85	751.3333333
	-7.5	941		-7.5	771
	-9.24	967.6666667		-9.24	796.3333333
	-11.06	998.6666667		-11.06	824.3333333
	-12.97	1033.666667		-12.97	855
	-14.97	1069.333333		-14.97	884.6666667
	-17.08	1100		-17.08	913.3333333
	-19.29	1124		-19.29	941.3333333
	-21.62	1143.333333		-21.62	967.6666667
	-24.05	1162.666667		-24.05	996
	-26.62	1184.666667		-26.62	1025
	-29.3	1207.333333		-29.3	1052
11	0	829.3333333	12	0	673.6666667
	-1.36	875		-1.36	734
	-2.78	951.6666667		-2.78	844.6666667
	-4.28	1033		-4.28	974
	-5.85	1097.333333		-5.85	1087
	-7.5	1138.666667		-7.5	1165

	-9.24	1161		-9.24	1206.666667
	-11.06	1176		-11.06	1222
	-12.97	1190.333333		-12.97	1227.666667
	-14.97	1205.666667		-14.97	1233
	-17.08	1220		-17.08	1240.666667
	-19.29	1236		-19.29	1255
	-21.62	1257.666667		-21.62	1272.333333
	-24.05	1282.333333		-24.05	1294.333333
	-26.62	1314		-26.62	1321
	-29.3	1342.333333		-29.3	1347
13	0	333.6666667	14	0	360.4545455
	-1.36	342.3333333		-1.36	409.2307692
	-2.78	361		-2.78	414.6153846
	-4.28	389.6666667		-4.28	470.3333333
	-5.85	418.3333333		-5.85	471
	-7.5	441.3333333		-7.5	473.3333333
	-9.24	463		-9.24	481
	-11.06	487.6666667		-11.06	495.3333333
	-12.97	518		-12.97	516.3333333
	-14.97	553.3333333		-14.97	541.3333333
	-17.08	587		-17.08	571
	-19.29	616.3333333		-19.29	603.3333333
	-21.62	641		-21.62	634.6666667
	-24.05	660.3333333		-24.05	663.3333333
	-26.62	675.6666667		-26.62	686
	-29.3	684		-29.3	698.3333333
15	0	397	16	0	395
	-1.36	403.3333333		-1.36	398.3333333
	-2.78	413.3333333		-2.78	411.3333333
	-4.28	434.3333333		-4.28	445.3333333
	-5.85	461.6666667		-5.85	491.6666667

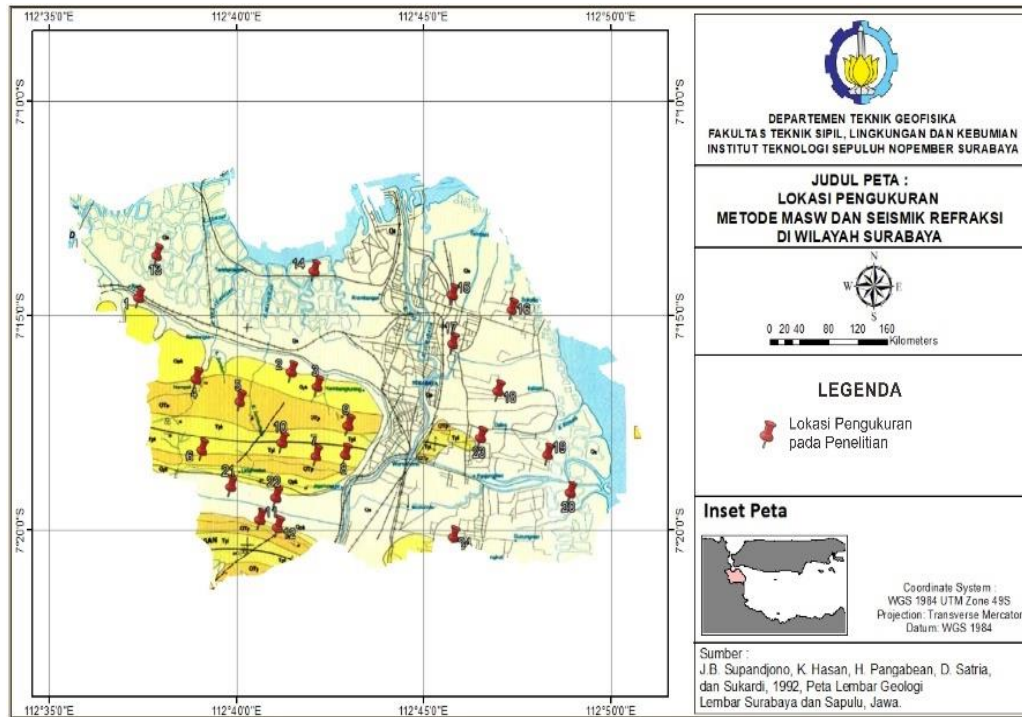
	-7.5	498.6666667		-7.5	541.6666667
	-9.24	543		-9.24	585
	-11.06	586		-11.06	617.6666667
	-12.97	620.6666667		-12.97	640.3333333
	-14.97	644.6666667		-14.97	658.3333333
	-17.08	659.6666667		-17.08	670.6666667
	-19.29	672.3333333		-19.29	685.6666667
	-21.62	684.6666667		-21.62	699.3333333
	-24.05	698.3333333		-24.05	712.3333333
	-26.62	712		-26.62	728.3333333
	-29.3	725.3333333		-29.3	741.6666667
17	0	333.3333333	18	0	379.6666667
	-1.36	338.3333333		-1.36	382.3333333
	-2.78	350		-2.78	388.6666667
	-4.28	370		-4.28	399.6666667
	-5.85	393		-5.85	412.3333333
	-7.5	414		-7.5	429.3333333
	-9.24	439		-9.24	447.6666667
	-11.06	468.6666667		-11.06	470
	-12.97	502.6666667		-12.97	496.3333333
	-14.97	537		-14.97	524.3333333
	-17.08	571.6666667		-17.08	553
	-19.29	604		-19.29	579.3333333
	-21.62	632.3333333		-21.62	605.6666667
	-24.05	659		-24.05	629.6666667
	-26.62	684.6666667		-26.62	653
	-29.3	707		-29.3	674.3333333
19	0	388.6666667	20	0	405.6666667
	-1.36	395.3333333		-1.36	394.3333333
	-2.78	406.6666667		-2.78	380
	-4.28	419.6666667		-4.28	369.3333333

	-5.85	436.3333333		-5.85	369.3333333
	-7.5	456		-7.5	380
	-9.24	480.6666667		-9.24	396.6666667
	-11.06	510.3333333		-11.06	420.3333333
	-12.97	540.3333333		-12.97	448
	-14.97	572		-14.97	478.3333333
	-17.08	598.6666667		-17.08	510.6666667
	-19.29	619.6666667		-19.29	544.3333333
	-21.62	636.6666667		-21.62	576.3333333
	-24.05	652		-24.05	606.6666667
	-26.62	666.3333333		-26.62	635
	-29.3	678.3333333		-29.3	657.3333333
21	0	375.6666667	22	0	376
	-1.36	384.3333333		-1.36	376.6666667
	-2.78	407		-2.78	382.6666667
	-4.28	443		-4.28	401.3333333
	-5.85	489		-5.85	427
	-7.5	537		-7.5	458.3333333
	-9.24	580.6666667		-9.24	489.3333333
	-11.06	617.3333333		-11.06	516.6666667
	-12.97	641.6666667		-12.97	541.3333333
	-14.97	654.6666667		-14.97	562.3333333
	-17.08	660		-17.08	586
	-19.29	663.6666667		-19.29	607.3333333
	-21.62	669.3333333		-21.62	631
	-24.05	677.6666667		-24.05	652.3333333
	-26.62	690.3333333		-26.62	676
	-29.3	704.3333333		-29.3	694.6666667
23	0	791.3333333	24	0	446
	-1.36	856.6666667		-1.36	457.3333333
	-2.78	972		-2.78	481.3333333

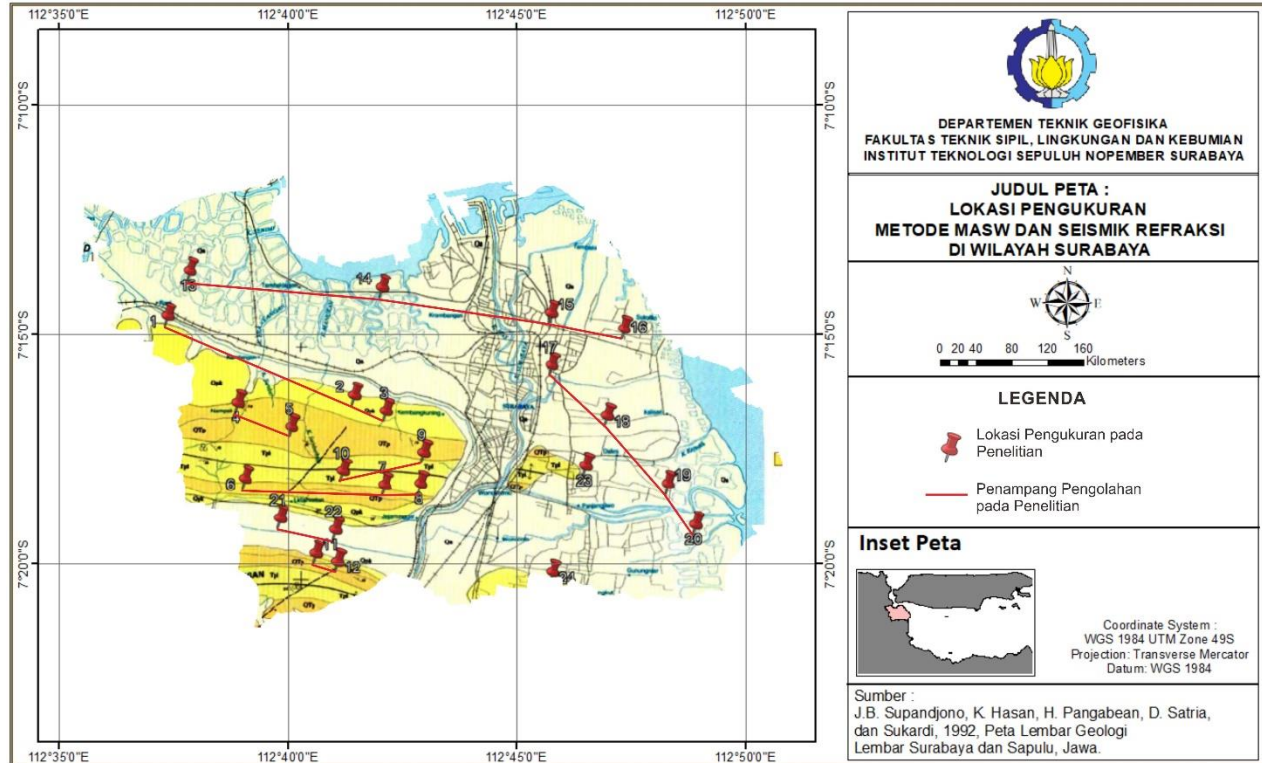
	-4.28	1111.333333		-4.28	511
	-5.85	1235		-5.85	543.6666667
	-7.5	1325.333333		-7.5	581
	-9.24	1383		-9.24	627.6666667
	-11.06	1419		-11.06	682
	-12.97	1443.666667		-12.97	732.6666667
	-14.97	1462.666667		-14.97	769.3333333
	-17.08	1480		-17.08	794.6666667
	-19.29	1496.333333		-19.29	814.3333333
	-21.62	1515.666667		-21.62	832.6666667
	-24.05	1540		-24.05	855.6666667
	-26.62	1569.333333		-26.62	877
	-29.3	1599		-29.3	889

Lampiran 2. Peta Lokasi Penelitian

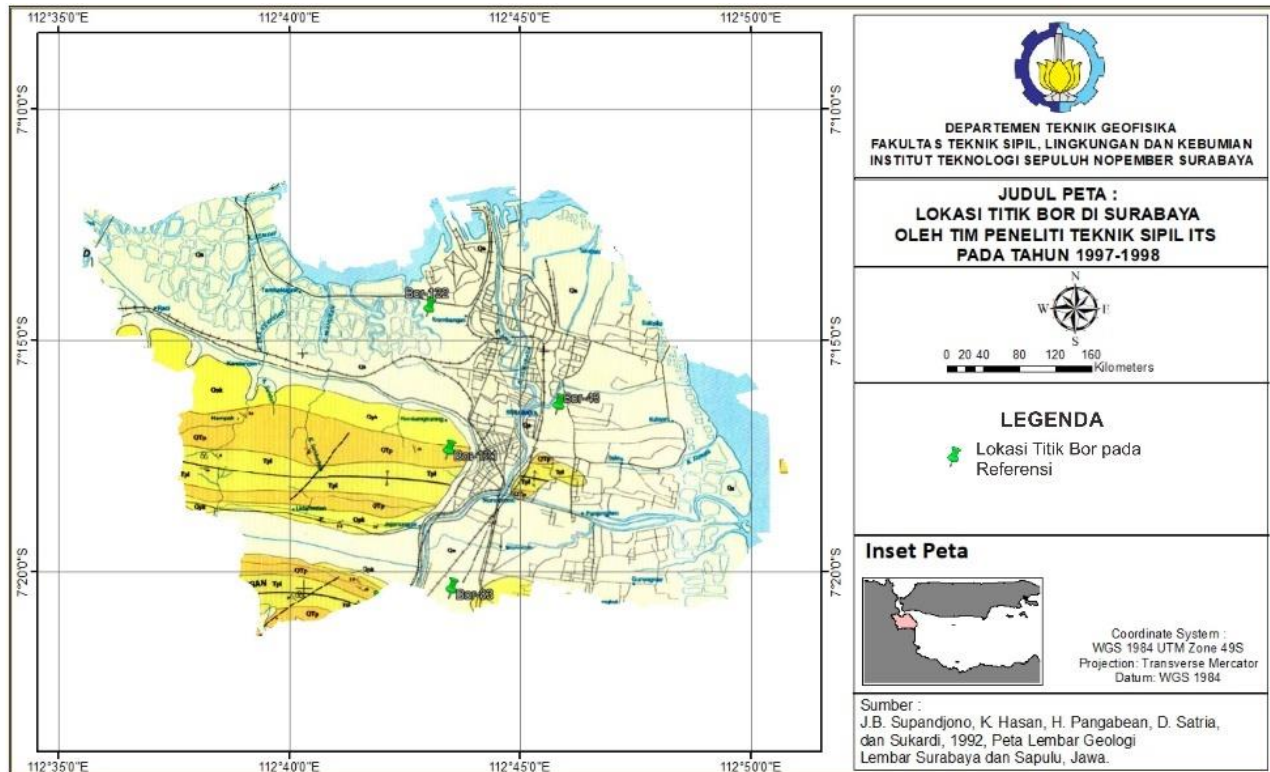
Gambar 1. Peta Lokasi Akuisisi



Gambar 2. Peta Penampang Interpretasi Penelitian

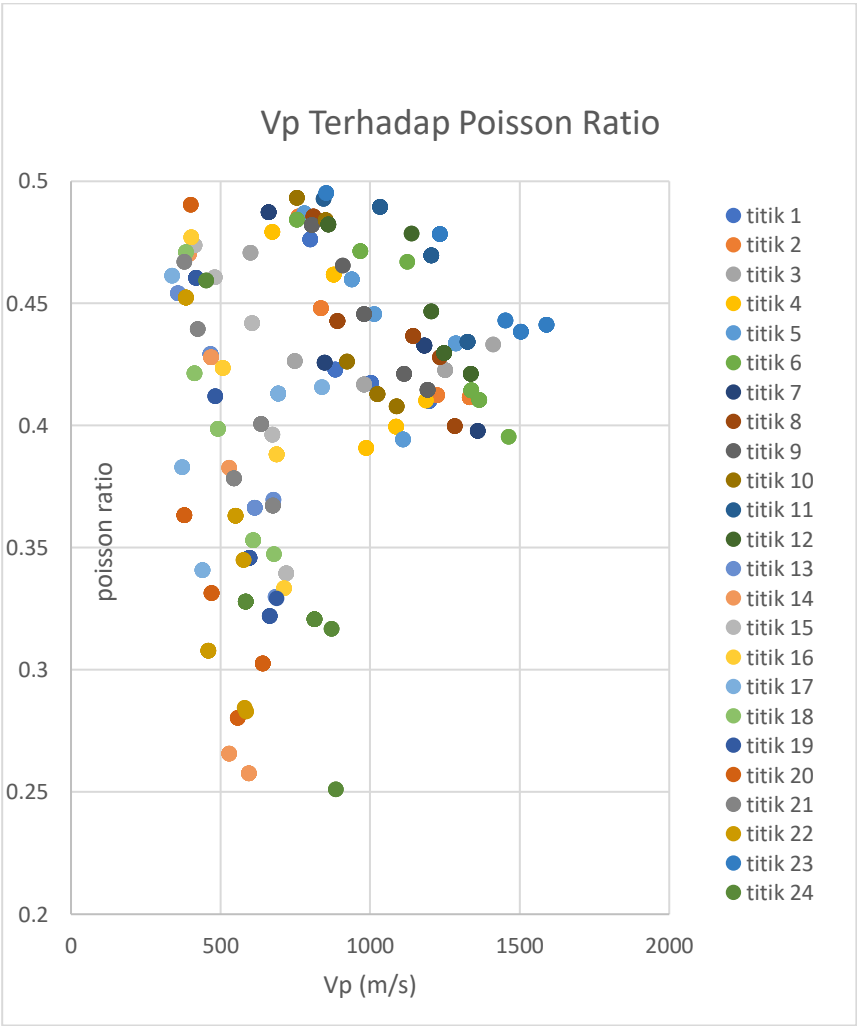


Gambar 3. Peta Lokasi Bor dalam oleh Tim Peneliti Teknik Sipil ITS Tahun 1998

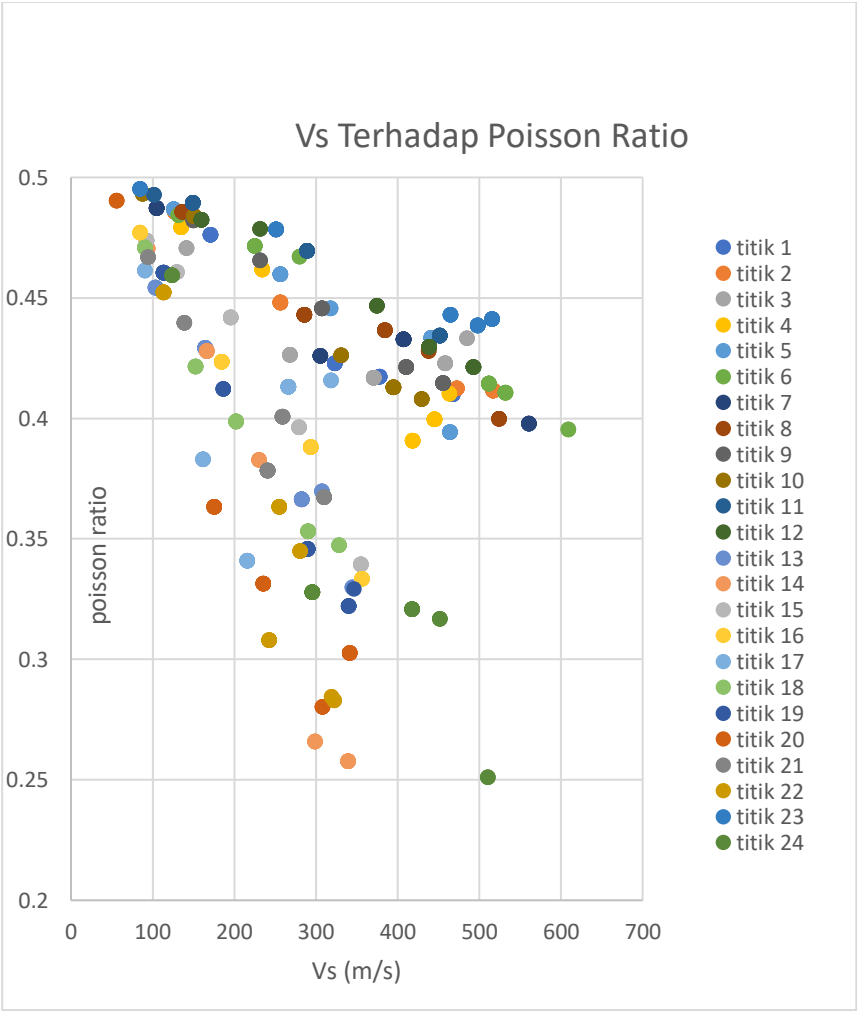


Lampiran 3. Grafik Pada Penelitian

Gambar 4. Grafik Hubungan Vp Terhadap *Poisson Ratio*



Gambar 5. Grafik Hubungan Vs Terhadap *Poisson Ratio*



Halaman ini sengaja dikosongkan

PROFIL PENULIS



Penulis bernama Mochammad Novritsa Zulfikar, lahir di Surabaya, tanggal 26 November 1997, sebagai anak pertama dari dua bersaudara. Pendidikan formal pertama yang ditempuh pada tahun 2002 di SD Negeri Margorejo III No. 405 Surabaya, kemudian melanjutkan pendidikan ke SMPN 13 Surabaya pada tahun 2008 - 2011 dan SMA Negeri 15 Surabaya pada tahun 2011 - 2014. Lulus SMA langsung melanjutkan kuliah S-1 di Teknik Geofisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui jalur SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa, penulis aktif berkontribusi dalam organisasi. Salah satu kontribusi penulis terbukti dalam tanggung jawab sebagai staf Departemen Sosial Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Geofisika ITS 2015 – 2016, ketua Departemen Islamic Centre Lembaga Dakwah Jurusan (LDJ) Al Ardh Teknik Geofisika ITS 2015 – 2016, ketua Departemen Pengabdian Masyarakat HMTG ITS 2016-2017, ketua Departemen Syiar Keumatan LDJ Al Ardh 2016 – 2017, dan Wakil Direktur Biro Badan Pelayan Umat Jamaah Masjid Manarul Ilmi ITS 2017 – 2018.. Penulis juga pernah berkontribusi sebagai Pengajar Tangguh pada ITS Mengajar Angkatan 3.

Selain itu penulis juga aktif dalam bidang keprofesian yaitu dengan mengikuti seminar-seminar dan fieldtrip yang dilaksanakan baik di Surabaya maupun di luar Surabaya serta telah melakukan beberapa penelitian. Penulis juga tertarik dalam bidang keilmuan mitigasi, geoteknik dan eksplorasi. Penulis dapat dihubungi melalui email di *novritsazulfikar@gmail.com*.

